



TUGAS AKHIR - TM 090340

RANCANG BANGUN OVEN UNTUK MENGERINGKAN TOKEK DENGAN SUMBER PANAS UDARA YANG DIPANASKAN DENGAN KOMPOR LPG

ANANTA KURNIA PUTRA
NRP. 2107 030 047

Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetyanto, MT.

PROGRAM STUDI D III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2010



FINAL PROJECT - TM 090340

**DESIGN OF OVEN FOR DRYING TUCKTOOS WITH
AIR WHICH HEATED LPG STOVE AS THE HEAT
SOURCE**

ANANTA KURNIA PUTRA
NRP 2107 030 047

Counsellor Lecture
Ir. Joko Sarsetyanto,MT

STUDY PROGRAM DIPLOMA III
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2010

RANCANG BANGUN OVEN UNTUK MENGERINGKAN TOKEK DENGAN SUMBER PANAS UDARA YANG DIPANASKAN DENGAN KOMPOR LPG

Nama Mahasiswa : ANANTA KURNIA PUTRA
NRP : 2107 030 047
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. JOKO SARSETYANTO, MT

Abstrak

Oven dirancang menggunakan sistem baffle, dengan sudut kemiringan 15^0 , dan dilengkapi dengan cerobong yang mempunyai panjang 0,09m, lebar 0,09m, dan tinggi 1m. Cerobong tersebut berfungsi sebagai lubang ventilasi agar uap jenuh di dalam oven dapat dibuang dengan cepat. Sumber panas, berasal dari udara panas yang dipanaskan dengan kompor berbahan bakar LPG.

Ada dua proses yang terjadi di dalam oven, yaitu: proses perpindahan panas dan proses perpindahan massa. Ketika udara panas mengalir melalui baffle, yang sekaligus berfungsi sebagai rak tempat produk diletakkan, terjadilah proses perpindahan panas dari udara ke produk.

Dalam perhitungan oven yang telah dilakukan, diperoleh dimensi oven : panjang 0,63m, lebar 1m, tinggi 1,6m. Oven tersebut membutuhkan bahan bakar teoritis 0,69 kg/jam, kapasitas maksimal oven 39,7 kg tokek. Panas yang tersimpan (Q_{st}) sebesar 2694,26 W, dan waktu pengeringan 17 jam.

Hasil pengujian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa pada temperatur udara di dalam oven $65,14^0C$, diperlukan waktu pengeringan 17 jam. Hasil ini menunjukkan penghematan waktu selama 7 jam, dan penghematan harga energi senilai Rp 18.433,00 dibandingkan oven yang telah ada.

Kata kunci : perpindahan panas, udara panas, dan perpindahan massa

DESIGN OF OVEN FOR DRYING TUCKTOOS WITH AIR WHICH HEATED LPG STOVE AS THE HEAT SOURCE

Name of Student : ANANTA KURNIA PUTRA
NRP : 2107 030 047
Department : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Councillor Lecturer : Ir. JOKO SARSETYANTO, MT

Abstract

This oven is designed with baffle system, with 15° oblique angle, and has a chimney with dimension : length 0,09m, width 0,009m, and height 1m. The function of chimney is as a ventilation for throw saturated steam. Heat sources comes from atmosphere air which is heated LPG stove.

There are two processes which occure in the oven. They are heat transfer and mass transfer processes. When the hot air flows through the baffle, which is its function as the racks where the product placed, heat transfer process from air to the product is occures.

The calculation result of designed oven has been done, oven has a dimension : length 0,63m, width 1m, and height 1,6m. This oven has theoretical fuel needs 0,69 kg/hour, and maximal capacity of oven is 39,7 kg tucktoos. The storage of heat (Q_{st}) is 2694,26 W, and 17 hours drying time.

The experimental result to dry 3,79 kg tucktoos need 17 hours with air temperature inside oven is $65,14^{\circ}\text{C}$. It means that it could save 7 ours time, and could save energy cost worth Rp 18.433,00 than excisting oven.

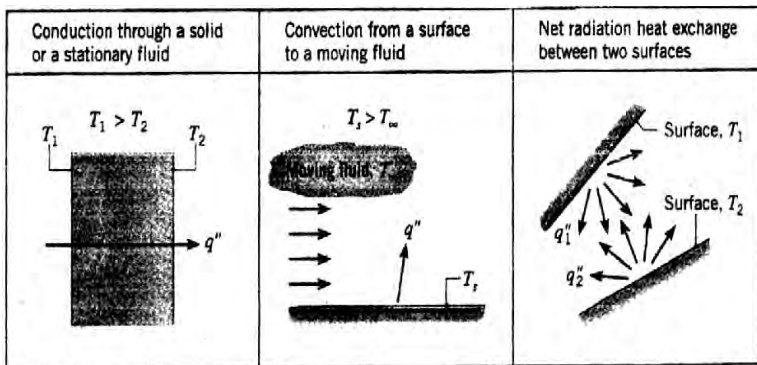
Key word : heat transfer, heat air, and mass transfer

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Perpindahan Panas

Suatu proses perpindahan panas akan terjadi apabila dua media yang mempunyai perbedaan temperatur, dimana panas akan berpindah dari media yang mempunyai temperatur tinggi menuju media yang bertemperatur rendah. Mekanisme dari proses tersebut dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu:

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi



Gambar 2.1. Tiga metode perpindahan panas yang berlangsung secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah suatu mekanisme perubahan energi dari suatu benda ke benda yang lain yang disebabkan adanya gerakan random dari molekul, bagian yang bertemperatur lebih tinggi atau yang memiliki energi yang lebih besar akan mengalirkan energinya ke bagian yang

bertemperatur lebih rendah atau yang memiliki energi yang lebih kecil.

Dalam beberapa hal proses perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi pada bentuk:

- Dinding datar

Laju perpindahan panas konduksi yang sesuai dengan hukum Fourier untuk bidang datar satu dimensi dan memiliki distribusi temperatur $T(x)$ dinyatakan:

$$q_x = -KA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

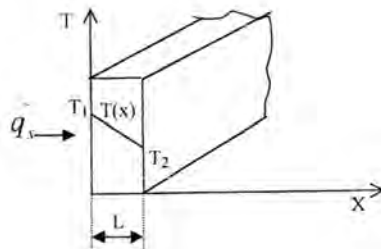
Dimana:

q_x = laju perpindahan panas, (W)

dT/dx = gradien temperatur, $\left(\frac{^{\circ}K}{m} \right)$

K = koefisien konduksi bahan, $\left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right)$

A = luas permukaan bahan, (m^2)



Gambar 2.2. Perpindahan panas konduksi pada dinding datar

Jika distribusi temperatur sepanjang L seperti pada gambar di atas adalah linier, maka laju perpindahan panas dapat dinyatakan sebagai:

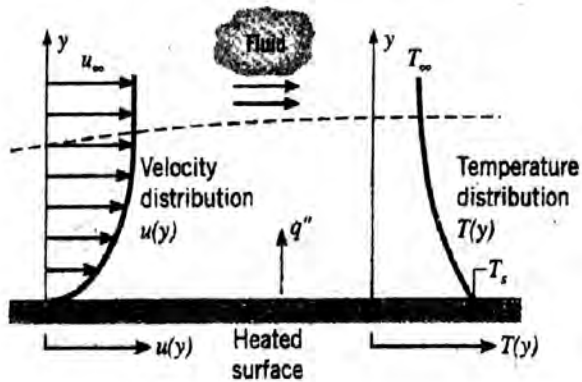
$$q_x = -KA \frac{T_2 - T_1}{L} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots(2.2)$$

Tanda (-) merupakan panas yang berpindah searah dengan penurunan temperatur/kalor yang mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu.

2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi yang disebabkan gerakan random molekul (*difusi*) dan gerakan makroskopis fluida di dalam lapisan batas (*boundary layer*). Perpindahan panas konveksi bergantung pada viskositas fluida dan sifat – sifat termal fluida, seperti konduktivitas termal, kalor spesifik, dan density.

Viskositas fluida akan mempengaruhi profil kecepatan aliran di mana fluida yang viskositasnya besar profil kecepatan aliran akan berbentuk relatif tumpul jika dibandingkan dengan fluida yang viskositasnya kecil. Hal ini disebabkan oleh gaya geser yang terjadi. Makin besar viskositasnya makin besar pula gaya gesernya. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar gradien temperatur sehingga panas yang dibawa tersebut akan semakin besar pula.



Gambar 2.3. Distribusi kecepatan dan distribusi temperatur

Ditinjau dari gerakan fluidanya perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Konveksi paksa

Disebut konveksi paksa (*forced convection*) apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor, dan lain – lain.

b. Konveksi alamiah atau disebut juga konveksi bebas (*natural convection*)

Konveksi alamiah (*natural convection*) adalah aliran fluida yang terjadi semata – mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bahan ada dua yaitu:

o Korelasi pada plat vertical

Apabila plat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (*no slip*), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas (*free stream*) tidak ada pada sistem konveksi bebas.

Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat – sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran – pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan *Grashof* (Gr).

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dan *Rayleigh Number* (Ra_L)

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

Pr = bilangan Prandtl

g = percepatan gravitasi, $(\frac{m}{s^2})$

L = panjang karakteristik, (m)

ν = viskositas kinematik, $(\frac{m^2}{s})$

β = koefisien ekspansi volume $(\frac{1}{T_f})$, (K^{-1})

α = difusivitas termal, $(\frac{m^2}{s})$

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (T_f).

Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number*.

- Untuk aliran laminar: $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

- Untuk aliran turbulen: $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Sehingga:

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

h = koefisien perpindahan panas
konveksi $\left(\frac{W}{m^2 \circ K} \right)$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = konduktifitas termal, $\left(\frac{W}{m \circ K} \right)$

L = tinggi dinding, (m)

- Korelasi pada plat horizontal

Nusselt Number rata – rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas

menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya.

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)

$$1. \overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \dots (2.8)$$

$$2. \overline{Nu}_L = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}}, (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \dots (2.9)$$

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

$$\overline{Nu}_L = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \dots (2.10)$$

Sehingga:

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

$$h = \text{koefisien perpindahan panas konveksi, } \left(\frac{W}{m^2 \circ K} \right)$$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

$$k = \text{konduktivitas termal, } \left(\frac{W}{m \circ K} \right)$$

L = panjang karakteristik, (m)

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang dan 0,9 D untuk cakram bola dengan diameter D.

$$L = \frac{A}{P} = \frac{w}{2} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

L = panjang karakteristik, (m)

A = luas permukaan plat, (m^2)

P = keliling plat (perimeter), (m)

w = lebar dinding, (m)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu:

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

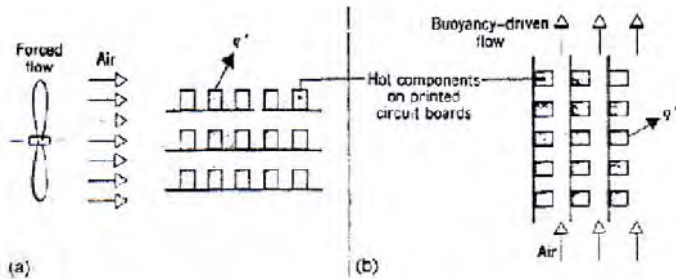
Dimana:

q = laju perpindahan panas konveksi, (W)

h = koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$

T_w = temperatur permukaan, ($^\circ C$)

T_∞ = temperatur fluida, ($^\circ C$)



Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi

- konveksi paksa
- konveksi alamiah

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan: koefisien perpindahan panas konveksi akan bergantung dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

$$V = \text{kecepatan fluida, } \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$L = \text{panjang lintasan, (m)}$$

$$\nu = \text{viskositas kinematik, } \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

$$\nu = \text{viskositas kinematik, } \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

$$C_p = \text{kapasitas panas, } \left(\frac{J}{kg^\circ K} \right)$$

$$\rho = \text{density fluida}, \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$k = \text{konduktivitas panas fluida}, \left(\frac{W}{m^\circ K} \right)$$

$$\mu = \text{viskositas dinamik}, \left(\frac{kg}{s.m} \right)$$

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai:

$$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{Kf} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

$\overline{Nu_L}$ = bilangan Nusselt.

$$\bar{h} = \text{koefisien perpindahan panas konveksi}, \left(\frac{W}{m^2 \circ K} \right)$$

$$Kf = \text{konduktivitas fluida}, \left(\frac{W}{m^\circ K} \right)$$

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara $\overline{Nu_L}$ dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya:

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.17)$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keanalogisan antara perpindahan panas konveksi dan perpindahan massa konveksi menjadikan parameter – parameter untuk menghitung koefisien perpindahan panas konveksi serupa dengan parameter – parameter untuk menghitung perpindahan massa konveksi.

Bilangan Sherwood didefinisikan sebagai:

$$\overline{S}_{hl} = \frac{\overline{h}mL}{D_{AB}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

\overline{S}_{hl} = bilangan Sherwood.

$\overline{h}m$ = koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = panjang karakteristik, (m)

D_{AB} = difusifitas massa fluida, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Bilangan Sherwood merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Schmidt (Sc).

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{S}_{hl} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{S}_{hl} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.1.3 Perpindahan Panas Radisasi

Perpindahan panas radiasi disebabkan karena adanya pancaran energi (radiasi elektromagnetik) oleh suatu benda karena temperaturnya. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (*vakum*).

Stefan – Boltzman telah menyatakan besarnya radiasi maksimum yang dapat dipancarkan oleh suatu permukaan benda hitam (*black body*), yaitu:

$$q'' = \sigma \times T_s^4 \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

$$q'' = \text{panas maksimum yang diradiasikan, } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$\sigma = \text{konstanta Boltzman, } \left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right)$$

$$T_s = \text{temperatur permukaan, } (^{\circ}C)$$

Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata (*real*) akan lebih kecil dari persamaan di atas, karena itu untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu factor yang disebut *emisivitas* (ϵ).

Sehingga panas yang diradiasikan adalah:

$$q'' = \epsilon \sigma T_s^4 \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana:

$$q'' = \text{panas nyata yang diradiasikan per satuan luas permukaan, } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$\epsilon = \text{emisivitas fluida}$$

Radiasi panas yang terjadi antara permukaan dengan sekeliling (*surrounding*) yang dipisahkan oleh gas yang tidak mempunyai efek terhadap perpindahan panas radiasi, sering dijumpai dalam praktek dan besarnya yang dipancarkan adalah:

$$q'' = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots\dots\dots(2.24)$$

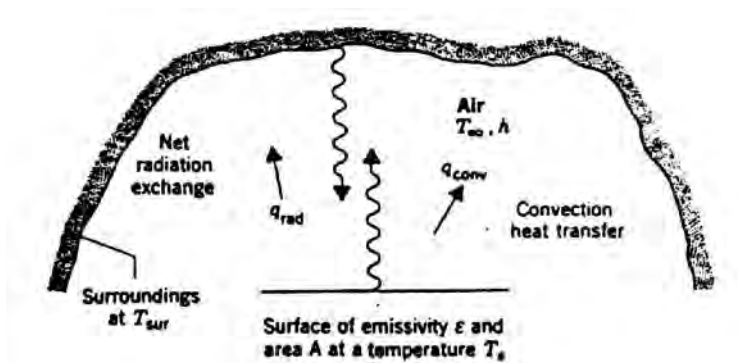
Dimana:

$$q'' = \text{laju perpindahan panas radiasi, (W)}$$

$$\epsilon = \text{emisivitas permukaan}$$

$$\sigma = \text{konstanta Boltzman, } \left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right)$$

$$A = \text{luas permukaan, } (m^2)$$

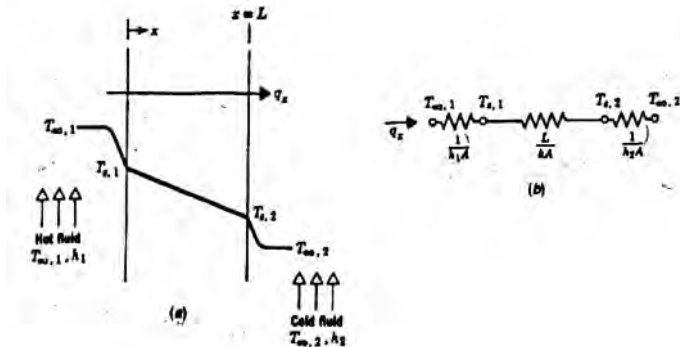


Gambar 2.5 Laju perpindahan panas radiasi oleh suatu permukaan dengan sekeliling

2.1.4 Perpindahan Panas Gabungan

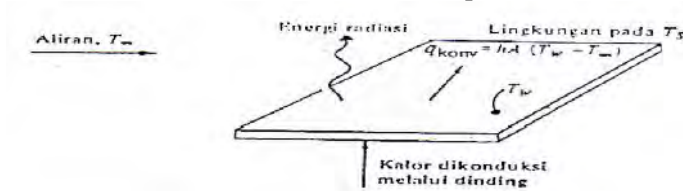
Di dalam praktek perpindahan panas yang terjadi tidak hanya dalam satu mekanisme saja melainkan terjadi secara gabungan antara konduksi, konveksi, dan radiasi maupun ketiga mekanisme tersebut.

Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi seperti gambar di bawah ini akan lebih mudah menentukannya jika dengan menggunakan metode *thermal resistant* (R). Karena dengan tanpa mengetahui temperatur permukaan benda ($T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$) besarnya perpindahan panas dapat diketahui.



Gambar 2.6 Perpindahan panas antara konduksi dengan konveksi

- Distribusi temperatur
- Sirkuit termal equivalent



Gambar 2.7 Perpindahan panas antara konduksi, konveksi, dan radiasi

Maka laju perpindahan panas:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{KA} + \frac{1}{h_2 A} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

$$R_{tot} = \text{tahanan total panas, } \left(\frac{^\circ K}{W} \right)$$

$$T_{\infty,1} = \text{temperatur fluida 1, } (^\circ C)$$

$$T_{\infty,2} = \text{temperatur fluida 2, } (^\circ C)$$

$$h_1 = \text{koefisien konveksi fluida 1, } \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

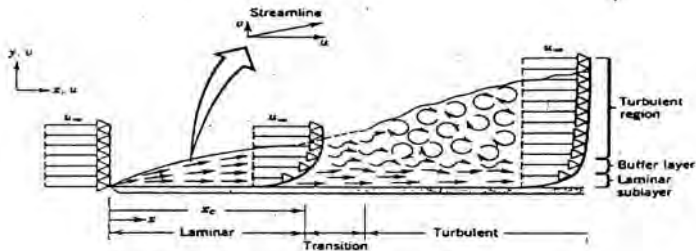
$$h_2 = \text{koefisien konveksi fluida 2, } \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

$$A = \text{luas permukaan perpindahan panas, } (m^2)$$

2.1.5 Aliran Laminer dan Turbulen

Dalam memperlakukan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan apakah aliran tersebut laminer atau turbulen. Gesekan permukaan dan laju

perbedaan konveksi sangat tergantung pada keberadaan kondisi tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, ada perbedaan tajam antara kondisi laminar dan turbulen. Pada batas laminar, pergerakan fluida sangat teratur dan memungkinkan untuk mengidentifikasi partikel – partikel memanjang pada garis *streamline*.



Gambar 2.8 Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar

Pergerakan fluida memanjang garis *streamline* dikarakteristikan oleh komponen kecepatan pada kedua arah x dan y . karena komponen kecepatan V adalah normal pada permukaan, maka komponen tersebut dapat memberikan kontribusi yang cukup pada perpindahan momentum, energi, dan spesies melalui lapisan batas. Perpindahan fluida normal pada permukaan adalah diperlukan oleh pertumbuhan lapisan batas pada arah x ,

Berbeda dengan pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dikarakteristikan oleh fluktuasi kecepatan. Fluktuasi ini menambah perpindahan momentum, energi, dan spesies. Karena itu menambah laju perpindahan konveksi. Sebagai akibat hasil percampuran dari fluktuasi, ketebalan lapisan batas turbulen adalah lebih besar dari profil lapisan batas kecepatan, lapisan batas temperatur, dan lapisan batas konsentrasi. Adalah lebih datar daripada lapisan laminar.

Kondisi ini digambarkan secara skematis pada gambar 2.8 untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan

batas mula – mula laminar, tetapi untuk suatu jarak dari ujung, transisi ke aliran turbulen mulai terjadi fluktuasi fluida untuk berkembang pada daerah transisi dan lapisan batas akhirnya menjadi turbulen penuh. Perpindahan menjadi turbulen diikuti oleh kenaikan yang cukup berarti pada ketebalan lapisan batas, tahanan geser dinding, dan koefisien konveksi.

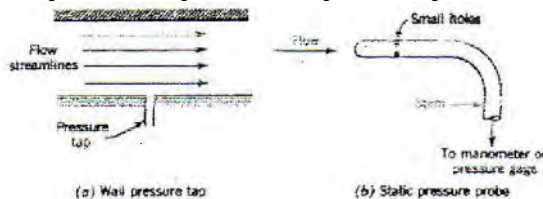
Pada lapisan batas turbulen, tiga daerah berbeda dapat dilukiskan. Pada laminar sublayer, transport didominasi oleh difusi dan profil kecepatan adalah mendekati linier. Dan pada lapisan daerah turbulen transport didominasi oleh campuran turbulen.

Pada perhitungan sifat lapisan batas, sering digunakan untuk mengasumsikan bahwa transisi terjadi pada local X_c . Bilangan Reynold kritis adalah nilai dari (Re) pada mana transisi terjadi dan untuk aliran luar bilangan tersebut diketahui bervariasi dari 10^5 sampai 3×10^6 , tergantung pada kekasaran permukaan. Asumsi umum untuk perhitungan lapisan batas diambil harga Reynold sebesar: $Re = 5 \times 10^5$. bila bilangan Reynoldnya $< 5 \times 10^5$ disebut aliran laminar, $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$ disebut aliran transisi dan $Re > 5 \times 10^8$ disebut aliran turbulen.

2.1.6 Tekanan statis, stagnasi, dinamis

A. Tekanan statis

Tekanan statis adalah tekanan yang diukur oleh alat ukur yang bergerak bersama – sama aliran dengan kecepatan yang sama. Tekanan statis dapat diukur melalui *wall pressure tap* dan *static pressure probe*.



Gambar 2.9 Pengukuran tekanan statis

B. Tekanan Stagnasi

Tekanan stagnasi adalah tekanan yang dapat diukur bila aliran diperlambat sampai kecepatannya sama dengan nol.

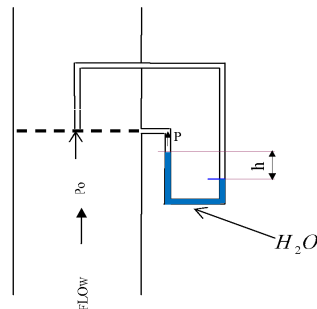


Gambar 2.10 Pengukuran serempak tekanan statis dan stagnasi

C. Tekanan Dinamis

Tekanan dinamis adalah perbedaan tekanan antara tekanan stagnasi dan tekanan statis.

Jadi berdasarkan perbedaan antara tekanan stagnasi P_0 dan tekanan statis P , kecepatan aliran dapat dihitung/diukur. Cara inilah yang digunakan tabung pitot untuk mengukur kapasitas aliran. Berikut ini gambar tabung pitot pada suatu aliran untuk mendapatkan kecepatan aliran.



Gambar 2.11 Tabung Pitot

Berdasarkan persamaan Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \frac{P_o}{\rho} + \frac{V_o^2}{2}$$

$V_o = 0$ (tekanan stagnasi)

$$P_o = P + \frac{1}{2} \rho V^2, \text{ sehingga:}$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 = P_o - P \text{ (tekanan dinamis)}$$

$$V^2 = \frac{2(P_o - P)}{\rho}, \text{ dari gambar terlihat bahwa:}$$

$$P_o - P = \rho_{H_2O} gh - \rho_{udara} gh$$

Jadi:

$$V = \sqrt{\frac{2\rho_{H_2O} gh}{\rho_{ud}}} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran, (m/s)

ρ_{H_2O} = massa jenis air, (kg/m³)

ρ_{ud} = massa jenis udara, (kg/m³)

g = percepatan gravitasi, (m/s²)

h = beda ketinggian fluida pada tabung pitot (m)

P = tekanan statis, (Pa)

P_o = tekanan stagnasi, (Pa)

2.1.7. Rapat Massa dan Volume Spesifik

Rapat massa (ρ) dari suatu fluida adalah massa yang mengisi satu satuan volume, sebaliknya volume spesifik (v) adalah volume yang diisi oleh satu satuan massa. Rapat massa dan volume spesifik saling berkaitan satu sama lain. Rapat massa udara pada tekanan atmosfer standar dengan suhu 25°C mendekati 1,2 kg/m³.

2.1.8. Kalor Spesifik

Kalor spesifik dari suatu bahan baker adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu ssatuan massa bahan tersebut sebesar 1°K . Dua besaran yang umum adalah kalor spesifik pada volume tetap (cv) dan kalor spesifik pada tekanan konstan (cp). Besaran yang kedua banyak dipakai pada proses pemanasan dan pendinginan.

2.2 Perpindahan Massa

Bentuk perpindahan massa secara garis besar dapat dibagi menjadi dua macam yaitu:

- Perpindahan massa secara konveksi
- Perpindahan massa yang diakibatkan oleh difusi

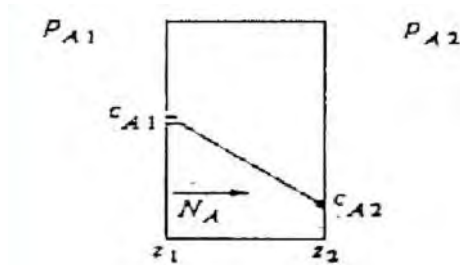
Perpindahan massa jenis umumnya sebagai akibat perbedaan konsentrasi komponen yang terdapat pada campuran. Graadien konsentrasi cenderung untuk menggerakkan komponen dengan arah sedemikian rupa agar dicapai kesetimbangan konsentrasi dan menghilangkan graadien tersebut.

Walaupun difusi biasanya diakibatkan oleh graadien konsentrasi, didapat juga diakibatkan oleh perbedaan tekanan, temperatur, ataupun oleh paksaan dari luar. Difusi molekular yang timbul sebagai graadien tekanan, oleh temperatur tersebut disebut difusi termal dan oleh gaya luar disebut difusi paksa.

Difusi adalah aliran zat fisik, yang terjadi pada kecepatan yang terbatas. Komponen yang berdifusi umumnya meninggalkan ruang di belakangnya dan ruang baru harus ditentukan untuk lokasi barunya.

2.2.1. Difusi Pada Lapisan Permeabel

Difusi uap pada suatu solid dipengaruhi oleh koefisien difusi antara uap dan solid serta perbedaan konsentrasi antara uap yang masuk solid dengan uap yang keluar solid.



Gambar 2.12 Difusi pada lapisan permeabel

Tetapi untuk beberapa kasus dimana solid merupakan suatu lapisan permeabel maka persamaan difusi fluks massa yang digunakan bukanlah sebagai fungsi koefisien difusi, melainkan sebagai fungsi permeabilitas antara solid dengan uap atau gas yang melewati lapisan permeabel tersebut.

Adapun persamaan fluks difusi massa yang melewati lapisan permeabel solid yang diberikan oleh Fick's adalah:

$$N_A'' = \frac{P_m}{22,414} \frac{P_{A,1} - P_{A,2}}{Z_2 - Z_1} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana:

$$N_A'' = \text{difusi fluks massa, } \left(\frac{\text{kgmol}}{\text{sm}^2} \right)$$

$$P_m = \text{permeabilitas uap/gas dengan solid, } (\text{m}^3/\text{sm}^2, \text{ atm/m})$$

$$P_{A,1} = \text{tekanan uap/gas masuk lapisan permeabel, (atm)}$$

$$P_{A,2} = \text{tekanan uap/gas masuk lapisan permeabel, (atm)}$$

$$Z_2 - Z_1 = \text{tebal lapisan permeabel, (m)}$$

2.3 Kekekalan Energi

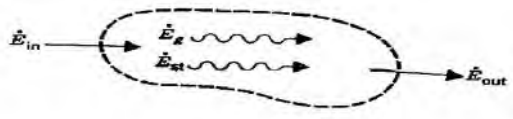
Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari termodinamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas Hukum I

Termodinamika (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis.

2.3.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Dalam menganalisis perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi/material dengan mengacu pada hukum I termodinamika, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai:

Laju energi termal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam volume atur.



Gambar 2.13 Kekekalan energi volume atur

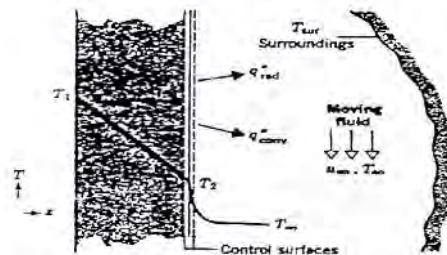
Notasi untuk energi yang masuk meninggalkan volume atur adalah E_{st} . Bentuk umum dari kekekalan energi dapat dinyatakan:

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st} \dots\dots\dots(2.29)$$

2.3.2. Kestimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka:

$$E_{in} = E_{out} \dots\dots\dots(2.30)$$



Gambar 2.14 Kekekalan energi permukaan sebuah media

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaan atur dengan basis per satuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaran radiasi netto dari permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas:

$$q''_{\text{konduksi}} - q''_{\text{konveksi}} - q''_{\text{radiasi}} = 0 \dots\dots\dots(2.31)$$

2.4 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Jika udara mengalir melewati suatu permukaan basah, akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah tersebut akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara dan permukaan basah tersebut maka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat pada temperatur antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan parsial uap air pada permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan massa uap air. Perpindahan massa ini menyebabkan perpindahan panas juga, karena pada saat air mengembun, kalor laten harus dikeluarkan dari air tersebut. Sebaliknya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan pada air tersebut.

2.5. Proses Pengeringan

Proses pengeringan adalah perpindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air dari permukaan bahan oleh media pengering yang biasanya berupa uap panas. Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan.

Faktor – faktor yang mempengaruhi proses pengeringan adalah:

1. Faktor yang berhubungan dengan udara pengering (suhu, kecepatan volumetrik, kelembaban udara)
2. Faktor yang berhubungan dengan bahan yang dikeringkan (ukuran bahan, kadar air awal bahan, tekanan parsial dalam bahan)

Pada pengeringan mekanis ini, memerlukan energi untuk memanaskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan air bahan serta menggerakkan udara. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pengeringannya. Akan tetapi, pengeringan yang terlalu cepat dapat merusak bahan yakni permukaan bahan terlalu cepat kering. Sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pengeringan air bahan ke permukaan bahan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*hardening*). Selanjutnya air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalangi permukaan bahan yang telah kering. Di samping itu pula penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak bahan.

Dalam hal ini keuntungan pengering mekanis yaitu:

- Tidak tergantung cuaca
- Mudah dikendalikan
- Tidak memerlukan tempat yang luas
- Kondisi pengeringan dapat dikendalikan

Proses pengeringan mekanis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu:

1. Pengeringan langsung/konveksi adalah bahan dikeringkan dengan cara mengeluarkan udara pengering melewati bahan
2. Pengeringan tidak langsung/konduksi adalah dinding panas yang bersentuhan dengan bahan yang akan dikeringkan secara konduksi

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses yaitu:

- Perpindahan panas dari luar ke bahan
- Perpindahan massa air dari permukaan bahan ke udara dan dari dalam bahan ke permukaan.

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu lebih rendah dari luar bahan. Panas ini diberikan oleh fluida yang melewati permukaan bahan secara konveksi ataupun oleh dinding panas secara konduksi dan panas ini akan menaikkan suhu

permukaan dan menaikkan tekanan uap air permukaan. Sehingga terjadi perpindahan dalam bentuk uap air dari permukaan bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa. Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam kesetimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar. Pada saat pengeringan dimulai, panas diberikan ke bahan akan menaikkan tekanan uap air terutama sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air sehingga terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bahan. Maka terjadi pergerakan air secara difusi dari dalam bahan ke permukaan bahan dan seterusnya. Proses penguapan pada permukaan bahan diulangi lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi kesetimbangan dengan udara sekitarnya.

Selama proses pengeringan terjadi perpindahan cairan (penguapan) dengan dua cara, yaitu:

1. Perpindahan cairan dari dalam bahan ke permukaan (difusi uap air). Gerakan cairan yang terjadi di dalam bahan menuju permukaan karena adanya perbedaan konsentrasi. Dimana konsentrasi pada bagian dalam bahan lebih besar dari konsentrasi permukaan. Hal ini disebabkan oleh difusi uap. Dengan meninjau lapisan tipis gerakan uap air dari bahan ke permukaan dapat dicari persamaan Fick untuk difusi satu dimensi:

$$N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Y} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$n_A'' = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial Y} \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana:

$$N_A'' = \text{fluk molar uap air, } \left(\frac{\text{mol}}{\text{sm}^2} \right)$$

D_{AB} = koefisien difusi biner uap air dan udara, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$\frac{\partial C_A}{\partial Y}$ = perbedaan konsentrasi uap air, $\left(\frac{mol}{m^3}\right)$

N_A'' = fluk massa uap air, $\left(\frac{kg}{sm^2}\right)$

$\frac{\partial \rho_A}{\partial Y}$ = perbedaan density uap air, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

2. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering.

Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke media pengering berlangsung secara konveksi. Laju perpindahan uap airnya dicari dengan persamaan:

$$N_A'' = h_m (C_{A,S} - C_{A,\infty}) \dots \dots \dots (2.34)$$

Dan laju perpindahan massa uap airnya dapat dicari dengan persamaan:

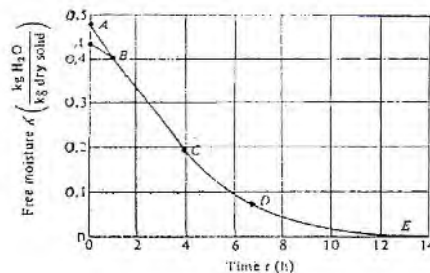
$$n_A'' = h_m (\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty}) \dots \dots \dots (2.35)$$

2.6. Periode Proses Pengeringan

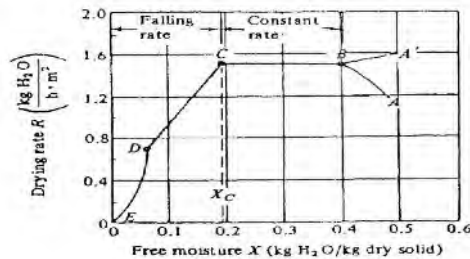
Periode proses pengeringan terdapat tiga periode, yaitu:

1. Periode kecepatan pengeringan naik
2. Periode kecepatan pengeringan konstan
3. Periode kecepatan pengeringan menurun

Ketiga periode tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.15 (a) moisture content terhadap fungsi waktu



Gambar 2.15 (b) laju pengeringan terhadap moisture content.

Keterangan gambar:

A – B = periode kecepatan naik

B – C = periode kecepatan konstan

C – D – E = periode kecepatan menurun

2.6.1. Periode Kecepatan Pengeringan Naik

Pada periode ini kecepatan pengeringan sulit diamati karena proses berlangsungnya amat cepat. Pada gambar di atas ada tiga periode pengeringan. Pada periode pengeringan naik (A – B) adalah operasi tak steady. Periode ini dimulai saat suhu kontak dengan medium pengering. Temperatur akan berubah sampai kondisi tunak. Kurva akan naik (A – B) apabila temperatur sample lebih rendah daripada temperatur medium pengering dan akan turun (A' – B) bila sebaliknya.

2.6.2 Periode Kecepatan Pengeringan Konstan

Pada periode ini (B – C) penguapan terjadi pada permukaan bahan dan kecepatan pengendapannya dapat dianggap sama dengan kecepatan pengeringannya. Uap air yang menguap segera diganti oleh uap air dari bagian dalam bahan. Periode ini berakhir pada saat kecepatan perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan lebih kecil daripada kecepatan penguapan air (permukaan air) pada permukaan bahan. Atau jika kandungan air kritisnya (X_c) tercapai, temperatur bahan pada periode ini konstan dan dianggap sebagai wet bulb temperature medium pengering. Sehingga penguapan untuk material yang berpori mekanismenya

sama dengan penguapan yang terjadi pada termometer bola basah, dimana proses yang terjadi pada termometer bola basah adalah salah satu penguapan dengan laju konstan.

Sedangkan laju perpindahan uap air dari permukaan bahan ke medium pengering berlangsung secara konveksi. Laju perpindahan uap air dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$N_A'' = h_m (C_{A,S} - C_{A,\infty})$$

Dimana:

$$N_A'' = \text{fluks molar uap air, } \left(\frac{\text{mol}}{\text{sm}^2} \right)$$

$$h_m = \text{koefisien perpindahan massa konveksi, } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$C_{A,S} \text{ dan } C_{A,\infty} = \text{konsentrasi uap air di permukaan } \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)$$

2.6.3. Periode Kecepatan Pengeringan Turun

Pada periode ini (C – D – E) terjadi bila laju pengeringan konstan berakhir pada kadar air kritis. Pada keadaan ini seluruh permukaan penguapan sudah tidak dapat lagi dipertahankan kejenuhannya oleh aliran air dari dalam bahan. Oleh karena itu akan terjadi dimana laju perpindahan uap air dari bagian dalam bahan lebih rendah dari laju uap air yang diuapkan. Hal ini menyebabkan sebagian permukaan bahan mulai mengering. Laju pengeringan akan turun hingga akhirnya berhenti pada saat tercapai kesetimbangan antara bahan dan udara pengering.

Pada solid yang tidak berpori, titik kritis terjadi ketika *moisture* pada permukaan diuapkan. Pada solid yang berpori, titik kritis dicapai ketika laju aliran *moisture* ke permukaan tidak lagi sama dengan laju penguapan pada permukaan solid.

2.7. Kecepatan Udara Dalam Cerobong

Perbedaan tekanan atau yang disebut draft pada cerobong akan menyebabkan udara yang keluar dari cerobong memiliki kecepatan. Draft teoritis dapat dihitung dari ketinggian cerobong dikalikan pengurangan antara densiti udara dengan density flue gas, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$h_w = \frac{15.91 Bh \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right)}{\rho_a}$$

Dimana:

h_w = draft teoritis, in.air

B = tekanan barometric, in.H₂O

h = tinggi cerobong, ft

T_a = temperature udara luar, °R

T_g = temperatur flue gas, °R

ρ_{udara} = density udara, lb/ft³

Sehingga kecepatan aliran udara dalam cerobong dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = 8.02 \sqrt{h \left(\frac{T_g}{T_a} - 1 \right)}$$

Dimana:

V = kecepatan udara, ft/s

h = tinggi cerobong, ft

T_g = temperatur flue gas, °R

T_a = temperatur udara, °R

Dan,

$$\dot{V} = A.KV$$

Dimana:

\dot{V} = laju volume udar yang melewati cerobong, ft/s

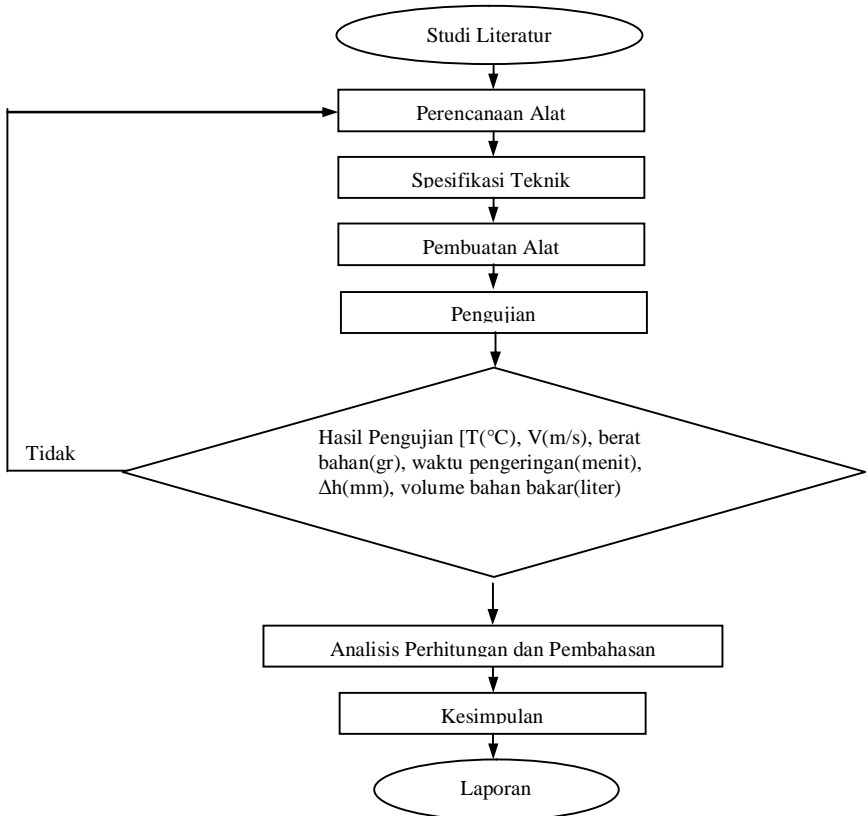
A = luas lubang cerobong, ft²

K = koefisien kecepatan, antara 0,3 – 0,5

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

Agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini, maka dapat ditempuh beberapa tahap, antara lain: dapat dilihat pada flowchart dibawah ini:



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir

Adapun penjelasan langkah dan prosedur penyusunan tugas akhir ini secara berurutan dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.1 Persiapan Awal

- a) Penentuan tema awal Tugas Akhir mengenai
“ RANCANG BANGUN OVEN UNTUK MENGERINGKAN TOKEK DENGAN SUMBER PANAS UDARA YANG DIPANASKAN DENGAN KOMPOR LPG (*Liquid Petroleum Gas*) ”.



Gambar 3.2 Bukaan masuknya udara

- b) Menentukan jadwal dan persiapan terhadap pengujian alat.

3.2 Prosedur Percobaan/Pengujian

3.2.1 Pengujian

Pertama pengujian dilakukan dengan memanaskan pengering (*oven*) dengan cara menyalakan api di ruang pengapian yang berada di bagian bawah oven. Setelah temperatur di dalam pengering dianggap steady, maka produk yang akan dikeringkan

dimasukkan ke dalam oven. Produk yang akan dikeringkan diletakkan di atas rak – rak yang ada di dalam pengering.



Gambar 3.3 Ruang pengapian



Gambar 3.4 Kondisi dalam pengering

3.2.2 Peralatan Ukur Untuk Pengujian

Peralatan ukur yang digunakan dalam pengujian sehingga diperoleh data – data yang kemudian digunakan dalam proses perhitungan terdiri atas:

1. Thermometer, berfungsi untuk mengukur temperatur.



Gambar 3.5 Thermometer

2. Tabung Pitot, berfungsi untuk mengetahui besarnya perbedaan ketinggian fluida sehingga kecepatan aliran uap jenuh dari dalam pengering ke udara bebas dapat diketahui pula. Tabung pitot dipasang pada cerobong.
3. Timbangan, berfungsi untuk mengetahui berat bahan dan gas tabung bahan bakar (LPG). Berat bahan dapat membandingkan baik bahan basah maupun bahan kering, sehingga dapat diketahui persentase hilangnya kandungan air dari bahan basah menjadi bahan kering. begitu juga dengan tabung gas LPJ. mengetahui berat awal dan berat setelah penggunaan.



Gambar 3.6. Proses penimbangan tabung gas

4. Higrometer, berfungsi untuk mengukur kelembaban udara ruangan (*relative humidity*).



Gambar 3.7. Higrometer

3.2.3 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya:

3.2.3.1 Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan bahan yang akan dikeringkan, yaitu tokek.
2. Tokek yang sudah dimatikan, dikeluarkan isi perutnya terlebih dulu. Setelah dicuci, tokek yang sudah diambil isi perutnya ini lantas disayat kemudian dipentang menggunakan bambu.



Gambar 3.8 Tokek yang dipentangkan dengan bambu

3. Menimbang berat awal tabung LPG.
4. Memanaskan pengering dengan menyalakan kompor LPG yang berada di bagian bawah pengering.
5. Menimbang tokek dalam keadaan basah.
6. Setelah temperatur dianggap steady, selanjutnya memasukkan tokek yang akan dikeringkan ke dalam pengering, tokek diletakkan di atas rak – rak yang terdapat di dalam pengering.

3.2.3.2 Tahap Pengambilan Data



Gambar 3.9 Busur untuk mengatur lubang ventilasi

Pada tahap ini, data – data diambil dengan melakukan pengaturan pembukaan ventilasi dalam hal ini cerobong oven pada kondisi cerobong terbuka 100% (90°). Kemudian data yang perlu dicatat antara lain:

- Massa bahan basah dan bahan kering
- Massa LPG awal dan akhir.
- Perbedaan ketinggian fluida air pada tabung pitot.
- Kelembaban udara ruangan dan di dalam pengering (%Rh)
- Temperatur di tiap rak, untuk mengetahui temperature dalam.
- Temperatur permukaan bahan yang telah kering
- Waktu yang diperlukan sampai tokek menjadi kering.

Setelah dilakukan pengujian dan diperoleh data – data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1, kemudian dilakukan beberapa perhitungan di antaranya:

1. Menghitung persentase bobot basah menjadi bobot kering.
2. Menghitung kerugian panas (Q_{loss}) yang keluar menembus dinding komposit pengering selama proses pengeringan bahan .
3. Menghitung Qilfilltrasi yang masuk ke dalam pengering.
4. Menghitung Qloss yang keluar melalui cerobong asap.
5. Menghitung laju perpindahan massa uap air bahan (Q_{evap}) ke udara selama proses pengeringan .
6. Menganalisis kesetimbangan energi pada kondisi steady state.

3.3 Data Pengujian Oven

ΣT_i	Σt_o	Rh	Δh	Mp	Mbb	Tfi	Tfo	β_i
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	%	m	Kg	Kg	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K}^{-1}$
65,14	33	25	0,002	0,024	0,51	359	308	0,0027

β_o	vi	vo	α_i	α_o	ki	ko	Pri	Pro
$^{\circ}\text{K}^{-1}$	m^2/s	m^2/s	m^2/s	m^2/s	$\frac{W}{m^{\circ}\text{K}}$	$\frac{W}{m^{\circ}\text{K}}$	-	-
0,0032	21,9	16,7	31,4	23,6	30,6	26,9	0,69	0,71

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

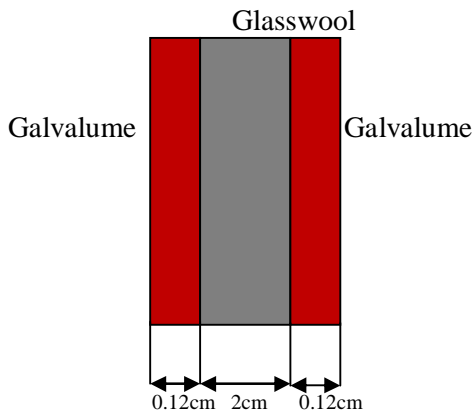
PERHITUNGAN PENERING

4.1 Perhitungan Kerugian Panas (Q_{loss})

Dalam pengeringan bahan yang diletakkan di atas rak di dalam oven, diperlukan proses pemanasan. Supaya proses pengeringan berjalan cepat, maka diperlukan pemanasan yang tahan lama. Agar panas di dalam oven ini tahan lama, maka dinding oven harus diisolasi dengan dinding komposit yang terdiri dari glasswool dan galvalume. Adanya dinding komposit ini terdapat tahanan termal yang menghambat laju perpindahan panas dari dalam oven menembus dinding komposit keluar ke udara luar. Untuk itu diperlukan perhitungan kerugian panas yang keluar menembus dinding komposit ke udara luar (Q_{loss}).

Dalam perhitungan diasumsikan:

- Konduksi steady state
- Perpindahan panas satu dimensi
- Efek radiasi diabaikan
- Sifat udara diambil berdasarkan temperatur film
- Temperatur uniform



Gambar 4.1 Konstruksi dinding pengering

Dalam perhitungan ini, tentukan dulu besarnya koefisien konveksi di bagian dalam (h_1) dan bagian luar (h_2). Untuk menghitung hal tersebut, maka digunakan pendekatan aliran fluida pada plat vertikal (*free convection*).

$$\text{Rayleigh Number (Ra}_L\text{): } \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots(4.1)$$

- Untuk aliran laminar, bila $0 < \text{Ra}_L < 10^9$

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,670 \text{Ra}_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(0,492 / \text{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \dots\dots\dots(4.2)$$

- Untuk aliran turbulen, bila $\text{Ra}_L > 10^9$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \text{Ra}_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(0,492 / \text{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \dots\dots\dots(4.3)$$

Besar koefisien perpindahan panas konveksi:

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana:

h = koefisien perpindahan panas konveksi,
($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = konduktifitas termal, ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}$)

L = tinggi dinding, (m)

Selain itu untuk menghitung koefisien konveksi juga dilakukan pendekatan aliran fluida pada plat horizontal (*free convection*).

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)

$$1. \overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \dots \dots \dots (4.5)$$

$$2. \overline{Nu}_L = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}}, (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \dots \dots \dots (4.6)$$

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

$$\overline{Nu}_L = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \dots \dots \dots (4.7)$$

Sehingga:

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \dots \dots \dots (4.8)$$

Dimana:

h = koefisien perpindahan panas konveksi, (W/m² K)

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = konduktifitas termal, (W/m °K)

L = panjang karakteristik, (m)

Besar kerugian panasnya (Q_{loss}), yaitu:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{tot}}} \dots \dots \dots (4.9)$$

Dimana:

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{h_2 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{h_1 A} \dots \dots \dots (4.10)$$

4.2 Perhitungan Laju Perpindahan Massa

Untuk mencari laju besarnya perpindahan massa dari bahan basah menjadi kering, perlu diketahui koefisien perpindahan massa konveksi. Perpindahan massa menyebabkan perpindahan panas juga, misalnya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan kepada air yang menguap tersebut. Untuk itu, dalam hal ini panas yang dibutuhkan untuk penguapan atau Q_{evap} harus diketahui. Dalam analisis ini digunakan pendekatan aliran fluida pada plat datar.

$$\text{Reynold Number } (Re_L) = \frac{VL}{\nu} \dots\dots\dots(4.11)$$

- Untuk aliran laminar, bila $Re_L < 5 \times 10^5$

$$\overline{Sh}_L = \frac{h_m L}{D_{AB}} = 0.664 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(4.12)$$

Maka:

$$h_m = \frac{\overline{Sh}_L D_{AB}}{L} \dots\dots\dots(4.13)$$

- Untuk aliran turbulen, bila $Re_L > 5 \times 10^8$

$$\overline{Sh}_L = \frac{h_m L}{D_{AB}} = 0.0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(4.14)$$

Maka:

$$h_m = \frac{\overline{Sh}_L D_{AB}}{L} \dots\dots\dots(4.15)$$

Laju massa uap air yang menguap:

$$\dot{m}_u = h_m \times A_s \times [\rho_{u, \text{sat}(T_s)} - \rho_{u, \text{sat}(T_\infty)}] \dots\dots\dots(4.16)$$

Sehingga besarnya panas untuk menguapkan air pada bahan:

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m}_u \times h_{fg} \dots\dots\dots(4.17)$$

4.3 Perhitungan

Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan adalah sebagai berikut:

- Dimensi model oven
 - Panjang = 63cm = 0,63m
 - Lebar = 100cm = 1m
 - Tinggi = 160cm = 1.6m
- Ukuran cerobong
 - Panjang = 9cm = 0,09m
 - Lebar = 9cm = 0,09m
 - Tinggi = 100cm = 1m
 - $A_v = (0,09 \times 0,09)m^2 = 0,0081m^2$
- Data dinding
 - » Bahan Dinding
 1. Galvalume
 - Tebal (L_1) = 0,12cm = 0,0012m
 - Konduktivitas termal (k_1) = 166 W/m^{°K}
 2. Glass Wool (*cellular glass*)
 - Tebal (L_2) = 2cm = 0,02m
 - Konduktivitas termal (k_2) = 0,058 W/m^{°K}
 3. Galvalme
 - Tebal (L_3) = 0,12cm = 0,0012m
 - Konduktivitas termal (k_3) = 166 W/m^{°K}
 4. Kaca jendela
 - Tebal (L_{glass}) = 0,5cm = 0,005m
 - Konduktivitas termal = 0,7 W/m^{°K}
 - » Luas permukaan dinding
 1. bagian depan (A_1) = 1,73941m²
 2. bagian kanan (A_2) = 1,0187m²
 3. bagian kiri (A_3) = 0,7106
 4. bagian belakang $A_4 = A_1 = 1,73941 m^2$
 5. bagian atas $A_5 = 0,705m^2$
 6. bagian kaca depan = 0,1449m²
- Data rak dan bak penampung lemak cair

$$\text{Panjang} = 89,5\text{cm} = 0,895\text{m}$$

$$\text{Lebar} = 50\text{cm} = 0,5\text{m}$$

- Data Bahan (tokek)

$$\text{Jari – jari (r)} = 0,075 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan bahan (A}_s\text{)} &= (\pi \times (0,075\text{m})^2) \\ &= 1,76625 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Sebelum menghitung Q_{loss} , koefisien konveksi untuk bagian dalam (h_1) untuk setiap dinding dan bagian luar (h_2) untuk setiap dinding serta koefisien konveksi yang bergerak ke atas (h_{top}), harus diketahui dulu.

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_1) pada dinding sebelah depan dan belakang:

Diketahui:

$$\text{Temperatur udara dalam (T}_{\infty 1}\text{)} = 65,14^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur udara pada dinding oven bagian dalam (T}_{s1}\text{)} = 107,5^\circ\text{C}$$

Didapatkan:

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 359,32^\circ\text{K}$, didapatkan:

$$v = 21,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{359,32^\circ\text{K}} = 0,002783^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\text{Pr} = 0,699$$

$$\alpha = 31,41 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 30,68 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned}
 Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \\
 &= \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,002783 K^{-1} \times 42,36^\circ K (1,6m)^3}{31,41 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21,9 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 0,687 \times 10^{10}
 \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\begin{aligned}
 \overline{Nu_L} &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\
 &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 0,687^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,699)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\
 &= 226,85
 \end{aligned}$$

sehingga:

$$h_1 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{226,85 \times 30,68 \cdot 10^{-3} W}{1,6m \cdot m^\circ K} = 4,35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_{glass}) pada kaca depan:

Diketahui:

Temperatur udara dalam ($T_{\infty 1}$) = $65,14^{\circ}\text{C}$

Temperatur udara pada kaca oven bagian dalam (T_{s1}) = $107,5^{\circ}\text{C}$

Didapatkan:

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 359,32^{\circ}\text{K}$, didapatkan:

$$\nu = 21,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{359,32^{\circ}\text{K}} = 0,002783^{\circ}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Pr} = 0,699$$

$$\alpha = 31,41 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 30,68 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\alpha\nu} \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,002783 \text{K}^{-1} \times 42,36^{\circ}\text{K} (1,15 \text{m})^3}{31,41 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 21,9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 0,25 \times 10^{10} \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\begin{aligned}\overline{Nu}_L &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 0,25^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,699)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= 166,17\end{aligned}$$

sehingga:

$$h_1 = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} = \frac{166,17 \times 30,61 \cdot 10^{-3} W}{1,15 m \cdot m^{\circ}K} = 4,43 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$$

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_1) pada dinding sebelah kiri:

Diketahui:

Temperatur udara dalam ($T_{\infty 1}$) = $65,14^{\circ}C$

Temperatur udara pada dinding oven bagian dalam (T_{s1}) = $107,5^{\circ}C$

Didapatkan:

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 359,32^{\circ}K$, didapatkan:

$$v = 21,90 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{359,32^\circ\text{K}} = 0,002783^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\text{Pr} = 0,699$$

$$\alpha = 31,41 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 30,68 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,002957 \text{K}^{-1} \times 42,36^\circ\text{K} (1,4\text{m})^3}{31,41 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 21,90 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 0,46 \times 10^{10} \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\begin{aligned} \overline{Nu_L} &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / \text{Pr})^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 0,46^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,699)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= 199,95 \end{aligned}$$

sehingga:

$$h_1 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{199,95 \times 30,68 \cdot 10^{-3} W}{1,4m \cdot m^{\circ}K} = 4,38 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$$

- Menghitung koefisien konveksi pada dinding atas bagian dalam (h_{top1})

Diketahui:

Temperatur udara dalam ($T_{\infty 1}$) = $65,14^{\circ}C$

Temperatur udara pada dinding oven bagian dalam (T_{s1}) = $107,5^{\circ}C$

Didapatkan:

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 359,32^{\circ}K$, didapatkan:

$$\nu = 21,90 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{359,32^{\circ}K} = 0,002783^{\circ}K^{-1}$$

$$Pr = 0,699$$

$$\alpha = 31,41 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$k = 30,68 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$\text{panjang karakteristik (L)} = \frac{A}{P} = \frac{W}{2} = \frac{1,14m}{2} = 0,57m$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\alpha\nu}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,002783 K^{-1} \times 42,36^\circ K \times (0,57 m)^3}{31,41 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21,90 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 0,167 \times 10^9
 \end{aligned}$$

Karena $10^5 < Ra_L < 10^{10}$ (*hot surface facing down*)

$$\begin{aligned}
 \text{Maka: } \overline{Nu_L} &= 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}} \\
 &= 0,27 (0,167 \times 10^9)^{\frac{1}{4}} = 30,73
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$h_{top} = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{30,73 \times 30,68 \cdot 10^{-3} W}{0,57 m \cdot mK} = 1,65 \frac{W}{m^2 K}$$

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian luar pengering (h_2) bagian dinding depan, kanan, dan belakang.

Diketahui:

Temperatur udara luar ($T_{\infty 2}$) = $33^\circ C$

Temperatur dinding udara luar (T_{s2}) = $37,5^\circ C$

didapatkan:

$$T_f = 308,25^\circ K$$

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 308,25^\circ K$, didapatkan:

$$v = 16,7 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308,25^\circ K} = 0,00324^\circ K^{-1}$$

$$Pr = 0,706$$

$$\alpha = 23,6 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$k = 26,91 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\alpha\nu} \\ &= \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,0032K^{-1} \times 4,5^{\circ}K \times (1,6m)^3}{23,6 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 16,72 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 0,14 \times 10^{10} \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\begin{aligned} \overline{Nu_L} &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 0,14^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,706)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= 140,42 \end{aligned}$$

sehingga:

$$h_2 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{140,42 \times 26,91 \cdot 10^{-3} W}{1,6 m \cdot m^{\circ}K} = 2,36 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$$

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian luar pengering ($h_{2\text{glass}}$) pada kaca depan:

Diketahui:

Temperatur udara luar (T_{∞_2}) = 33 °C

Temperatur dinding kaca luar (T_{s2}) = 37,5 °C

Didapatkan:

$$T_f = 308,25^{\circ}K$$

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 308,25^{\circ}K$, didapatkan:

$$\nu = 16,7 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308,25^{\circ}K} = 0,00324^{\circ}K^{-1}$$

$$Pr = 0,706$$

$$\alpha = 23,68 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$k = 26,91 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g \beta (T_s - T_{\infty}) L^3}{\alpha \nu} \\ &= \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,00327 K^{-1} \times 4,5^{\circ}K (1,15 m)^3}{23,68 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 16,7 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 0,054 \times 10^{10} \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\begin{aligned}\overline{Nu_L} &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= \left\{ 0,825 + \frac{0,386 \times 0,054^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,706)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\ &= 103,30\end{aligned}$$

sehingga:

$$h_2 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{103,30 \times 26,91 \cdot 10^{-3} W}{1,15 m \cdot m^{\circ}K} = 2,41 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$$

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian luar pengering (h_2) pada dinding sebelah kiri:

Diketahui:

Temperatur udara luar ($T_{\infty 2}$) = $33^{\circ}C$

Temperatur dinding luar (T_{s2}) = $37,5^{\circ}C$

didapatkan:

$$T_f = 308,25^{\circ}K$$

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 308,25^\circ\text{K}$, didapatkan:

$$\nu = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308,25^\circ\text{K}} = 0,00324^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\text{Pr} = 0,706$$

$$\alpha = 23,68 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 26,91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,00324 \text{K}^{-1} \times 4,5^\circ\text{K} (1,4\text{m})^3}{23,68 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 16,7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 0,09 \times 10^{10} \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\overline{Nu_L} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / \text{Pr})^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 0,09^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492/0,706)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$= 123,81$$

sehingga:

$$h_2 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{123,81 \times 26,91 \cdot 10^{-3} W}{1,4 m \cdot m^{\circ}K} = 2,37 \frac{W}{m^2 \cdot m^{\circ}K}$$

- Menghitung koefisien konveksi pada dinding atas bagian luar (h_{top2})

Diketahui:

Temperatur udara luar ($T_{\infty 2}$) = $33^{\circ}C$

Temperatur dinding luar (T_{s2}) = $37,5^{\circ}C$

didapatkan:

$$T_f = 308,25^{\circ}K$$

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 308,25^{\circ}K$,
didapatkan:

$$\nu = 16,7 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308,25^{\circ}K} = 0,00324^{\circ}K^{-1}$$

$$Pr = 0,706$$

$$\alpha = 23,68 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$k = 26,91 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

panjang karakteristik (L)

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned}
 Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \\
 &= \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,0032 K^{-1} \times 4,5^\circ K \times (0,57 m)^3}{23,68 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 16,7 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\
 &= 0,06 \times 10^9
 \end{aligned}$$

Karena $10^5 < Ra_L < 10^{10}$ (*hot surface facing up*)

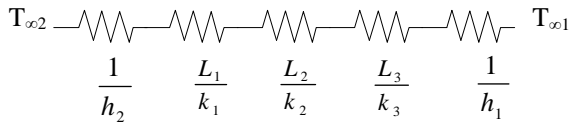
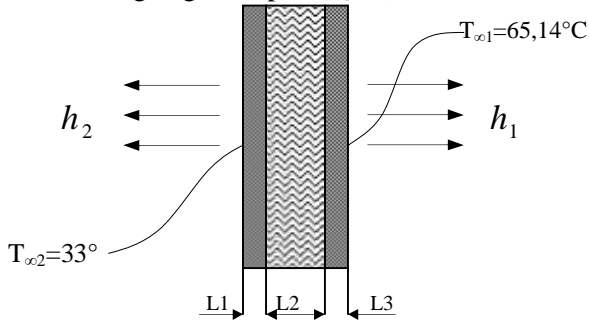
$$\begin{aligned}
 \text{Maka: } \overline{Nu_L} &= 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}} \\
 &= 0,15 (0,06 \times 10^9)^{\frac{1}{3}} = 57,34
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$h_{top} = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{57,34 \times 26,91 \cdot 10^{-3} W}{0,57 m \cdot mK} = 2,70 \frac{W}{m^2 K}$$

4.4.1 Perhitungan Kerugian Panas (Q_{loss})

1. Dinding bagian depan (Q_{loss1})

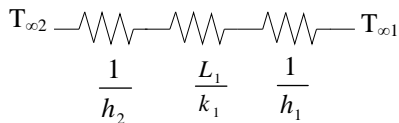
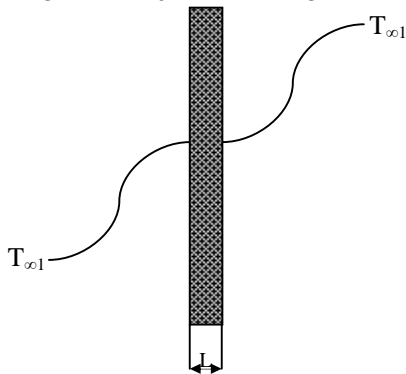


$$\begin{aligned}
 R_{\text{tot}}'' &= \frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_1} \\
 &= \frac{1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}}{2,36 \text{ W}} + \frac{0,0012 \text{ m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}{166 \text{ W}} + \frac{0,02 \text{ m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}{0,058 \text{ W}} + \frac{0,0012 \text{ m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}}{166 \text{ W}} \\
 &\quad + \frac{1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}}{4,35 \text{ W}} \\
 &= 0,68 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \\
 Q_{\text{loss1}}'' &= \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{\text{tot}}''} \\
 &= \frac{(65,14 - 33)^\circ \text{C W}}{0,68 \text{ m}^2 \cdot \text{K}} = 46,73 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

Karena : $Q''_{loss1} = \frac{Q_{loss}}{A_1}$

Sehingga : $Q_{loss1} = Q''_{loss1} \times A_1$
 $= 46,730 \frac{W}{m^2} \times 1,7394 m^2$
 $= 81,26 W$

❖ Bagian kaca jendela ($Q_{loss\text{glass}}$)



$$R''_{tot} = \frac{1}{h_2} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_1}$$

$$= \frac{1 m^2 \cdot ^\circ K}{2,41 W} + \frac{0,005 m \cdot m^{\circ K}}{0,07 W} + \frac{1 m^2 \cdot ^\circ K}{4,43 W}$$

$$= 0,98 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}$$

$$Q''_{loss} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R''_{tot}}$$

$$= \frac{(65,14 - 33)^{\circ}CW}{0,98m^2 \cdot K} = 32,67 \frac{W}{m^2}$$

Karena : $Q''_{loss} = \frac{Q_{loss}}{A_1}$

Sehingga : $Q_{loss} = Q''_{loss} \times A_{glass}$

$$= 32,67 \frac{W}{m^2} \times 0,145m^2$$

$$= 4,73W$$

Maka untuk Q_{loss} bagian depan menjadi:

$$Q_{loss} = Q_{loss1} + Q_{loss(glass)}$$

$$= 81,26 + 4,73 = 86,0W$$

2. Dinding bagian kanan (Q_{loss2})

Karena bahan dinding sama, tetapi luas permukaan dinding berbeda, maka:

$$Q_{loss2} = Q''_{loss1} \times A_2$$

$$= 32,67 \times 1,0187$$

$$= 33,2W$$

3. Dinding bagian kiri (Q_{loss3})

$$R_{tot}'' = \frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_1}$$

$$= \frac{1m^2 \cdot K}{2,37W} + \frac{0,0012m \cdot m^{\circ}K}{166W} + \frac{0,02m \cdot m^{\circ}K}{0,058W} + \frac{0,0012m \cdot m^{\circ}K}{166W}$$

$$+ \frac{1m^2 \cdot K}{4,38W}$$

$$= 0,99 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$Q''_{loss3} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}''}$$

$$= \frac{(65,14 - 33)^{\circ}CW}{0,99m^2 \cdot K} = 32,46 \frac{W}{m^2}$$

Karena : $Q''_{loss3} = \frac{Q_{loss}}{A_3}$

Sehingga : $Q_{loss3} = Q''_{loss3} \times A_3$

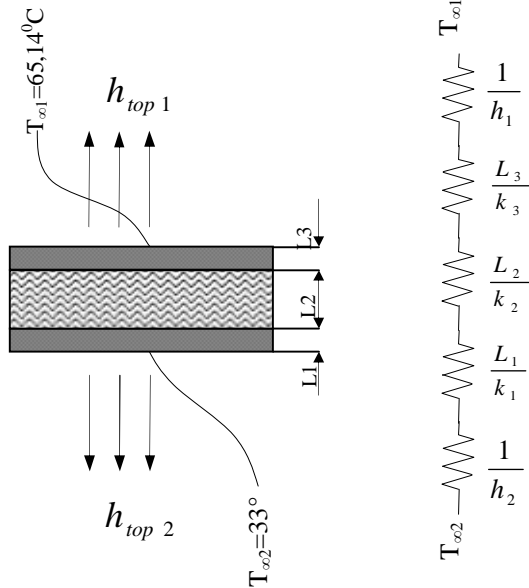
$$= 32,46 \frac{W}{m^2} \times 0,7106 m^2$$

$$= 22,98 W$$

4. Dinding bagian belakang (Q_{loss4})

$$Q_{loss4} = Q_{loss1} = 81,26 W$$

5. Dinding bagian atas (Q_{loss5})



$$R_{tot} = \left[\frac{1}{h_{top2} A_5} + \frac{L_1}{k_1 A_5} + \frac{L_2}{k_2 A_5} + \frac{L_3}{k_3 A_5} + \frac{1}{h_{top1} A_5} \right]$$

$$= \left[\left(\frac{1}{h_{top2}} + \frac{1}{h_{top1}} \right) \frac{1}{A_5} \right] + \left[\left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) \frac{1}{A_5} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\left(\frac{1}{2,70} + \frac{1}{1,65} \right) \frac{m^2 K}{W} \times \frac{1}{0,705 m^2} \right] + \\
&\quad \left[\left(\frac{0,0012}{166} + \frac{0,02}{0,058} + \frac{0,0012}{166} \right) \frac{m \cdot m K}{W} \times \frac{1}{0,705 m^2} \right] \\
&= 1,31 \frac{K}{W}
\end{aligned}$$

Sehingga :

$$Q_{loss5} = \frac{T_{\infty1} - T_{\infty2}}{R_{tot}} = \frac{(65,14 - 33)^\circ C \cdot W}{1,31 K} = 24,371 W$$

Sehingga : $Q_{loss5} = Q''_5 \times A_5$

$$\begin{aligned}
&= 24,37 \frac{W}{m^2} \times 0,7106 m^2 \\
&= 34,29 W
\end{aligned}$$

Jadi Q_{loss} dinding total :

$$\begin{aligned}
Q_{loss} \text{ dinding total} &= Q_{loss1} + Q_{loss2} + Q_{loss3} + Q_{loss4} + Q_{loss5} \\
&= (86 + 33,2 + 22,99 + 56,27 + 34,29) W \\
&= 232,66 W
\end{aligned}$$

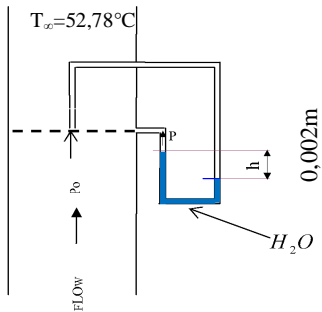
4.4.2 Perhitungan Kecepatan Udara (V) Melalui Cerobong

Asumsi: gesekan fluida dalam cerobong diabaikan

Diketahui: $\Delta h = 0,003 m$

$$T_{\infty1} = 65,14^\circ C = 338,14^\circ K$$

Dari tabel A.4, untuk $T_{\infty1} = 335,57^\circ K$ didapat:



$$\rho_{udara} = 1,075 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = \sqrt{\frac{2(P_o - P)}{\rho_{udara}}}$$

$$P_o - P = \rho_{air}gh$$

$$\rho_{air} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = \sqrt{\frac{2(\rho_{air}gh)}{\rho_{udara}}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2\left(1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,002m\right)}{1,075 \frac{kg}{m^3}}}$$

$$V = 6,041 \frac{m}{s}$$

4.4.3 Perhitungan Q_{loss} Melalui Cerobong

- Menghitung Q_{loss} cerobong
Diketahui:

Kecepatan udara melalui cerobong $V = 6,041 \frac{m}{s}$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,078 \frac{kg}{m^3}$$

$$A_v = (0,09 \times 0,09) m^2 = 0,0081 m^2$$

$$\dot{m}_2 = V \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{cerobong}}$$

$$6,041 \frac{m}{s} \times 1,078 \frac{kg}{m^3} \times 0,0081 m^2 = 0,052 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{\text{loss cerobong}} = \dot{m} \times C_p \times (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$

$$= 0,052 \frac{kg}{s} \times 1,008 \text{ KJ/Kg.K} \times (52,78^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C})$$

$$= 1036,7 \text{ W}$$

4.4.4 Perhitungan Laju Perpindahan Massa (Q_{evap})

Kecepatan udara keluar melalui cerobong (V) = $6,041 \frac{m}{s}$

Panjang karakteristik (L)

$$L = \frac{A}{P} = \frac{0,09m \times 0,09m}{2(0,09 + 0,09)m} = 0,0225m$$

Temperatur produk kering (T_s) = 60°C

Temperatur udara saat produk kering (T_∞) = $65,14^\circ\text{C}$
didapatkan:

$$T_f = \frac{(60 + 65,14)^\circ\text{C}}{2} = 62,57^\circ\text{C} = 335,57\text{K}$$

Udara pada $T_f = 335,57\text{K}$, didapatkan:

(tabel A.4) didapat $\nu = 19,46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

(tabel 11.4) didapat $D_{AB} = 3,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$$S_c = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{19,46 \cdot 10^{-6}}{3,63 \cdot 10^{-5}} = 0.54$$

- Sifat – sifat udara pada $T_s = 60^\circ\text{C}$

(tabel A.6) didapat: $\rho_{u.sat} = 0,1051 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$h_{fg} = 2360 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- Sifat – sifat udara pada $T_\infty = 65,14^\circ\text{C}$

(tabel A.6) didapat: $\rho_{u.sat} = 0,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- Reynold Number (Re_L)

$$\text{Re}_L = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{6,041 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0225\text{m}}{19,46 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 6,98 \times 10^3$$

Karena: $\text{Re}_L < 5 \times 10^5$

$$\text{Maka: } \overline{Sh}_L = \frac{h_m L}{D_{AB}} = 0,664 \text{Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Sc}^{\frac{1}{3}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,664(6,98 \times 10^3)^{\frac{1}{2}} \times (0,54)^{\frac{1}{3}} \\
 &= 45,28
 \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan massa konveksi

$$h_m = \frac{\overline{Sh_L} D_{AB}}{L} = \frac{45,28 \times 3,63 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{0,0225m} = 0,073 \frac{m}{s}$$

- Laju massa uap air yang dipindahkan ke udara sekeliling, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \dot{m}' &= h_m \times A_s \times [\rho_{u,sat}(T_\infty) - \rho_{u,sat}(T_s)] \\
 &= 0,073 \frac{m}{s} \times 0,0069m^2 \times \left| 1,051 \frac{kg}{m^3} - 0,26 \frac{kg}{m^3} \right| \\
 &= 3,98 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s}
 \end{aligned}$$

- Besar panas untuk menguapkan air pada tokek, yaitu:

$$\begin{aligned}
 Q_{evap} &= \dot{m}' \times h_{fg} \\
 &= 3,98 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s} \times 2360000 \frac{J}{kg} \\
 &= 938,80W
 \end{aligned}$$

4.4.5 Perhitungan Q_{loss} infiltrasi

- Menghitung Q_{loss} infiltrasi

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 - \dot{m}' \\
 0,052 \frac{kg}{s} - 3,98 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s} &= 0,0051 \frac{kg}{m^3} \\
 Q_{lossinfiltrasi} &= \dot{m} \times C_p \times (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,051 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,007 \text{KJ/Kg} \cdot \text{K} \times (65,14^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C}) \\
&= 1650,6 \text{ W}
\end{aligned}$$

Jadi Q_{loss} total :

$$\begin{aligned}
Q_{\text{loss total}} &= Q_{\text{loss dinding}} + Q_{\text{loss keluar cerobong}} + Q_{\text{loss infiltrasi}} \\
&= 232,66\text{W} + 1036,7\text{W} + 1650,6\text{W} \\
&= 2919,96\text{W}
\end{aligned}$$

4.5 Kesetimbangan Energi

Pada analisis kesetimbangan energi akan diperoleh, besarnya panas yang tersimpan di dalam pengering (Q_{st}).

$$\begin{aligned}
Q_{\text{in}} + Q_{\text{g}} &= Q_{\text{out}} + Q_{\text{st}}, \text{ asumsi } Q_{\text{g}} = 0 \\
Q_{\text{st}} &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \\
&= Q_{\text{in}} - (Q_{\text{loss}} + Q_{\text{evap}})
\end{aligned}$$

Dimana panas yang masuk ke dalam pengering (Q_{in}) dipengaruhi oleh bahan bakar dari kompor. Adapun bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari kerosene (minyak tanah).

Berdasarkan tabel.1 bahan bakar gas LPG didapat:

$$\text{LHV} = 46.607 \text{ MJ/kg}$$

Perhitungan panas yang tersimpan di dalam pengering (Q_{st}) yaitu:

Pada posisi ini massa bahan bakar (m_{bb}) sebesar 0,51 Kg yang digunakan dalam proses pengeringan selama 60 menit.

- Perhitungan panas yang masuk dalam pengering

$$\begin{aligned}
Q_{\text{in}} &= (\dot{m}_{\text{bb}} \times \text{LHV}) \\
&= \left(\frac{0.51 \text{kg}}{60 \text{menit}} \times \frac{1 \text{menit}}{60 \text{s}} \times \frac{46,607 \cdot 10^6 \text{ J}}{\text{Kg}} \right) \\
&= 6602,66\text{W}
\end{aligned}$$

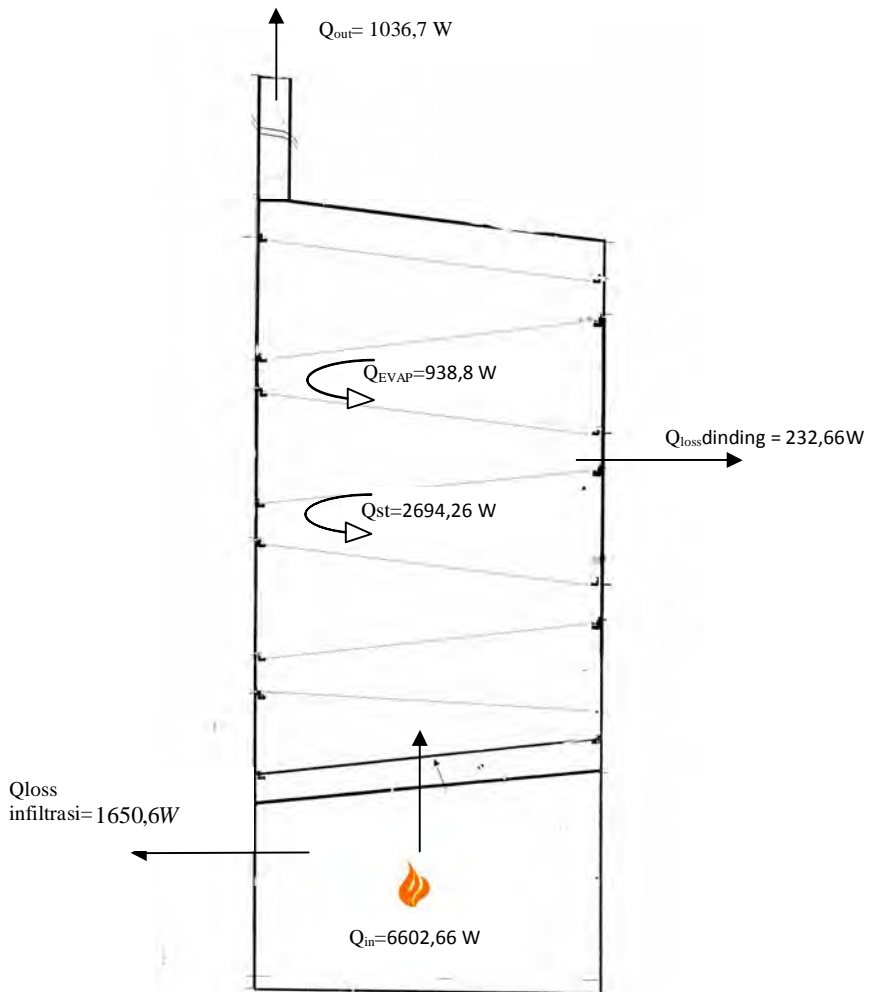
Jadi:

$$\begin{aligned}
 Q_{st} &= Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{evap}) \\
 &= 6602,66W - (2919,96 + 938,8)W \\
 &= 2743,9W
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Kestimbangan Energi Dan Prosentase Kadar Air

Besar ventilasi (%)	Q_{in} (W)	Q_{loss} (W)	Q_{evap} (W)	Q_{st} (W)	Kadar Air (%)	Waktu Pengeringan (jam)
100	6602,66	2969,6	938,8	2694,26	43	17

4.6 Neraca Kesetimbangan Energi



4.7 Perbandingan Pemakaian Harga Energi Selama Pengeringan Antara Oven baru dengan Oven lama

OVEN BARU

- Harga 3 Kg Bahan Bakar = Rp 13.000,00
- Harga 1 Kg Bahan Bakar = Rp 4.333,00
- Pemakaian Bahan Bakar selama satu jam = 0,51 Kg
- Lama Pengeringan = 17 jam
- Harga Energi yang hilang selama pengeringan berlangsung
- $\text{Rp } 4.333,00 \times 0,51 \text{ Kg/jam} \times 17 \text{ jam} = \text{Rp } 37.567,11$

OVEN LAMA

- Harga 1 liter minyak tanah = Rp 7.000,00
- Kemampuan 1 liter minyak tanah = 6 jam
- Lama Pengeringan = 24 jam
- Kompor minyak yang digunakan = 2 buah
- Konsumsi bahan bakar selama pengeringan = 8 liter
- Harga Energi yang digunakan selama pengeringan berlangsung $\text{Rp } 7.000 \times 8 \text{ liter} = \text{Rp } 56.000,00$

Jadi, oven baru yang dilengkapi dengan cerobong asap, dan menggunakan sistem baffle ini dapat melakukan penghematan harga energi sebanyak Rp 18.433,00, dan penghematan waktu sebanyak 7 jam daripada menggunakan oven lama yang belum mempunyai teknologi pengeringan yang baik.

Perencanaan Pemakaian \dot{m}_{bb} Pada Oven Pengering Tokek Selama 1 jam

Sebelum menghitung \dot{m}_{bb} , koefisien konveksi untuk bagian dalam (h_1) untuk dinding bagian bawah, harus diketahui terlebih dahulu.

- Menghitung koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_1) pada dinding sebelah bawah:

Diketahui:

Temperatur udara dalam (T_{∞_1}) = $65,14^\circ\text{C}$

Temperatur pada dinding (T_s) = 230°C

Didapatkan:

Dari tabel A.4, untuk udara dengan $T_f = 420,57^\circ\text{K}$, didapatkan:

$$\nu = 29,21 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{423,42^\circ\text{K}} = 0,00236^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\text{Pr} = 0,688$$

$$\alpha = 42,46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 35,43 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

Rayleigh Number (Ra_L):

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\alpha\nu} \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,00236^\circ\text{K}^{-1} \times 159,15^\circ\text{K} (0,63\text{m})^3}{42,46 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 29,21 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 1,975 \times 10^7 \end{aligned}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\begin{aligned}
 \overline{Nu}_L &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\
 &= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 1,975^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,688)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \\
 &= 316,406
 \end{aligned}$$

sehingga:

$$h_{\text{platbawah}} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} = \frac{316,406 \times 35,43 \cdot 10^{-3} \text{ W}}{0,63 \text{ m} \cdot \text{m}^\circ\text{K}} = 17,794 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

T pengering = 65,14°C

$$Q_{in} = \dot{m}_{bb} \times LHV$$

pada analisi Kestimbangan Energi didapat

$$\begin{matrix} = 0 & = 0 \\ E_{in} + E_{st} & = E_q + E_{out} \end{matrix}$$

Sehingga $E_q = E_{out}$

Adapun bahan bakar yang digunakan dalam perancangan ini adalah gas LPG. Berdasarkan tabel 1. Bahan bakar LPG didapat :
LHV = 46,460 MJ/KG
Sehingga :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{bb} \times LHV &= hA(T_s - T_{\infty}) \\ \dot{m}_{bb} \times 46,407 \text{ MJ} &= 17,794 \times 0,315 (159,15^\circ \text{C}) \\ \dot{m}_{bb} &= 19,223 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

Jadi dapat diketahui

$$\begin{aligned} \dot{m}_{bb} &= 19,223 \cdot 10^{-5} \cdot 60 \text{ s} \\ \dot{m}_{bb} &= 0,218 \cdot 60 \text{ menit} \\ \dot{m}_{bb} &= 0,69 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi di dalam perencanaan oven, bahan bakar yang dibutuhkan selama 1 jam adalah 0,69 kg/jam, sedangkan pada kondisi di lapangan bahan bakar yang dibutuhkan selama 1 jam adalah 0,51 kg/jam

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dalam proses pengeringan tokek, didapatkan suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Kerugian panas (Q_{loss}) yaitu sebesar 336,939 W.
2. Kecepatan udara saat melewati cerobong yaitu sebesar 6,160 m/s.
3. Laju perpindahan massa dari bahan basah menjadi bahan kering (\dot{m}_u) dan kalor penguapan (Q_{evap}) yaitu sebesar $3,38 \times 10^{-4}$ Kg/s dan 938,80 W.
4. Panas yang masuk ke dalam pengering (Q_{in}) dipengaruhi oleh bahan bakar dari kompor LPG dan temperatur udara luar yang masuk ke dalam ruang pembakaran.
5. Panas yang tersimpan dalam pengering (Q_{st}) yang terbesar yaitu sebesar 2743,9 W.
6. Kapasitas maksimal dari oven adalah sebanyak 700 tokek untuk sekali pengeringan dengan berat tokek per ekornya rata-rata 2 ons.
7. Waktu optimal untuk mengeringkan tokek adalah 17 jam, dengan suhu rata-rata sebesar 65°C .
8. Oven baru yang dilengkapi dengan cerobong asap, dan menggunakan sistem baffle ini dapat melakukan penghematan harga energi senilai Rp 18.433,00, dan penghematan waktu sebanyak 7 jam daripada menggunakan oven lama yang belum mempunyai teknologi pengeringan yang baik.
9. Dalam perencanaan oven, bahan bakar yang dibutuhkan selama 1 jam adalah 0,69 kg/jam, sedangkan pada kondisi di lapangan, bahan bakar yang dibutuhkan selama 1 jam adalah 0,51 kg/jam.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Lampiran 1

A. Data Pengujian Oven

ΣT_i	Σt_o	Rh	Δh	Mp	Mbb	Tfi	Tfo	β_i
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	%	m	Kg	Kg	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K}^{-1}$
65,14	33	25	0,002	0,024	0,51	359	308	0,0027

β_o	vi	vo	α_i	α_o	ki	ko	Pri	Pro
$^{\circ}\text{K}^{-1}$	m^2/s	m^2/s	m^2/s	m^2/s	$\frac{W}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$	$\frac{W}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$	-	-
0,0032	21,9	16,7	31,4	23,6	30,6	26,9	0,69	0,71

Lampiran 2

B. Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi Dan Prosentase Kadar Air

Besar ventilasi (%)	Q_{in} (W)	Q_{loss} (W)	Q_{evap} (W)	Q_{st} (W)	Kadar Air (%)	Waktu Pengeringan (jam)
100	6602,66	2969,6	938,8	2694,26	43	17

Lampiran 1

A. Data Pengujian Oven

ΣT_i	Σt_o	Rh	Δh	Mp	Mbb	Tfi	Tfo	β_i
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	%	m	Kg	Kg	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K}^{-1}$
65,14	33	25	0,002	0,024	0,51	359	308	0,0027

β_o	vi	vo	α_i	α_o	ki	ko	Pri	Pro
$^{\circ}\text{K}^{-1}$	m^2/s	m^2/s	m^2/s	m^2/s	$\frac{W}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$	$\frac{W}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$	-	-
0,0032	21,9	16,7	31,4	23,6	30,6	26,9	0,69	0,71

Lampiran 2

B. Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi Dan Prosentase Kadar Air

Besar ventilasi (%)	Q_{in} (W)	Q_{loss} (W)	Q_{evap} (W)	Q_{st} (W)	Kadar Air (%)	Waktu Pengeringan (jam)
100	6602,66	2969,6	938,8	2694,26	43	17



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nop

RANCANG BANGUN OVEN UNTUK MENGERINGKAN TOKEK DENGAN SUMBER PANAS UDARA YANG DIPANASKAN KOMPOR LPG

Oleh:
ANANTA KURNIA PUTRA
2107.030.047

Dosen Pembimbing:
Ir. JOKO SASETYANTO,
MT

D III TEKNIK MESIN FTI-ITS



Pendahuluan



Diagram Alir



Data Awal



Perhitungan Oven



Kesimpulan



Latar Belakang

❖ Para ahli pengobatan
China
mengembangkan obat
tumor dari organ
tubuh tokek



INDUSTR
I TOKEK

Zat aktif tokek :

- meningkatkan respons sistem kekebalan tubuh dari suatu organisme
- menginduksi sel-sel tumor apoptosis (yang membunuh dirinya sendiri)
- menekan ekspresi protein VEGF dan FGF, faktor pendukung berkembangnya kanker



KENDALA :

Teknologi PENGERINGAN yang masih mempunyai kekurangan :

1. Waktu pengeringan yang lama
2. Produk yang beraroma minyak tanah
3. Pengeringan yang tidak merata pada produk



Foto Oven Untuk Mengeringkan Tokek
Yang Masih Sangat Sederhana



Rumusan Masalah

Oven yang dilengkapi dengan lubang ventilasi udara dan cerobong asap dengan luas lubang yang sama yang berfungsi sebagai sirkulasi untuk membuang uap jenuh atau perpindahan massa di dalam pengering, agar waktu pengeringan menjadi lebih cepat dan produk yang dihasilkan menjadi lebih berkualitas.



1. Dalam perhitungan diasumsikan :
 - Kondisi steady state.
 - Permukaan plat penyerap rata.
 - Efek radiasi diabaikan.
 - Temperatur dan kelembaban udara diluar pengering dianggap konstan.
2. Penulis tidak membahas karakteristik aliran udara pengering yang melalui tokek.
3. Penulis hanya membahas proses perpindahan panas dan perpindahan massa secara umum.
4. Penulis tidak membahas rancangan konstruksi alat dan kontrol.
5. Tidak membahas difusifitas air pada tubuh tokek.
6. Deretan tokek pada oven disusun menyerupai plat datar, sehingga dapat dianggap sebagai plat datar dalam proses perpindahan panas.
7. Tidak Membahas pengaruh ketinggian cerobong.

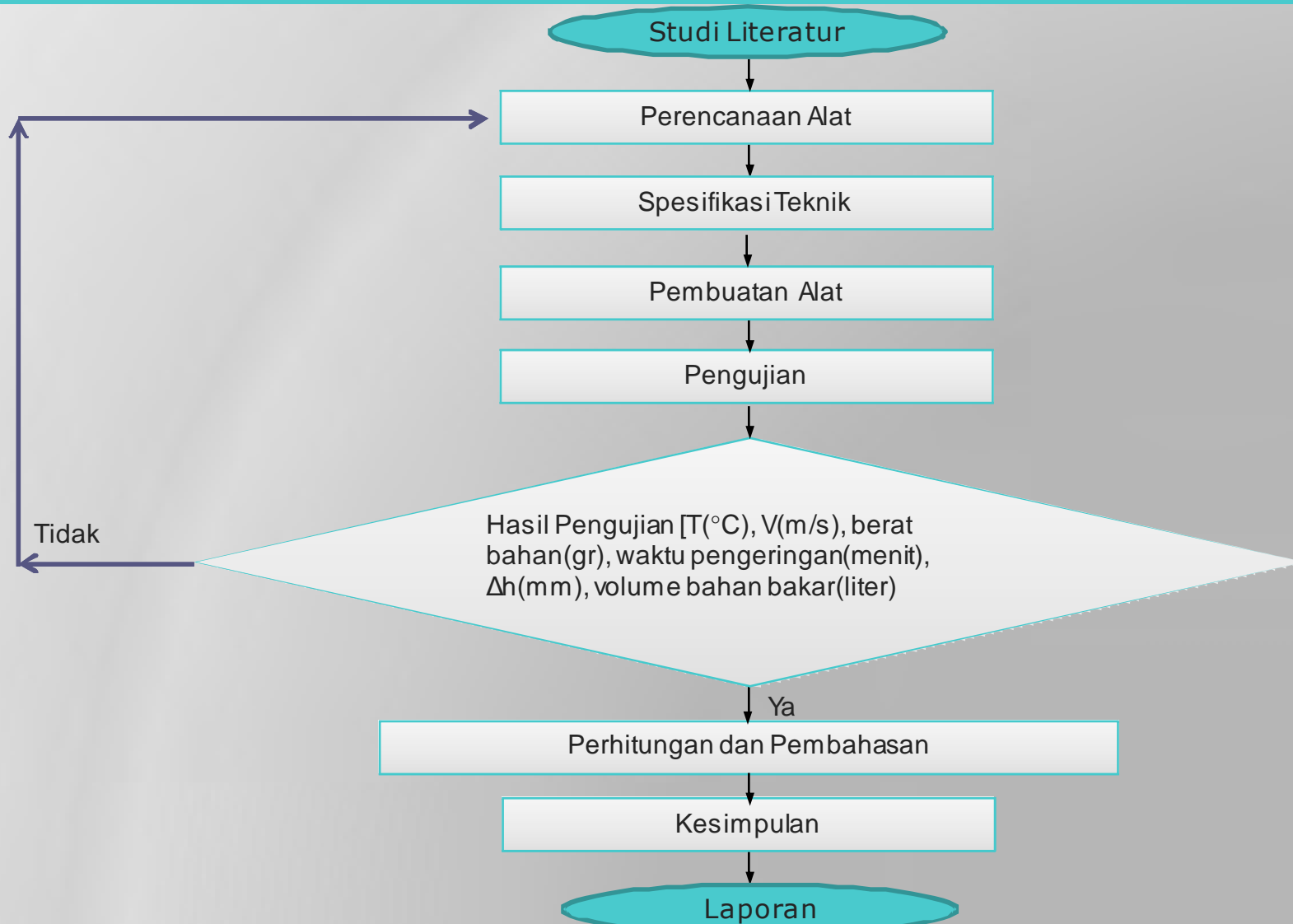


Merancang Oven dengan menggunakan sumber panas udara yang dipanaskan oleh kompor LPG, dengan parameter :

- Menghitung Q_{loss} total
- Menghitung kecepatan aliran udara
- Menghitung $Q_{\text{evaporasi}}$
- Menghitung Keseimbangan Energi
- Dimensi alat pengering dengan kapasitas 700 ekor tokek

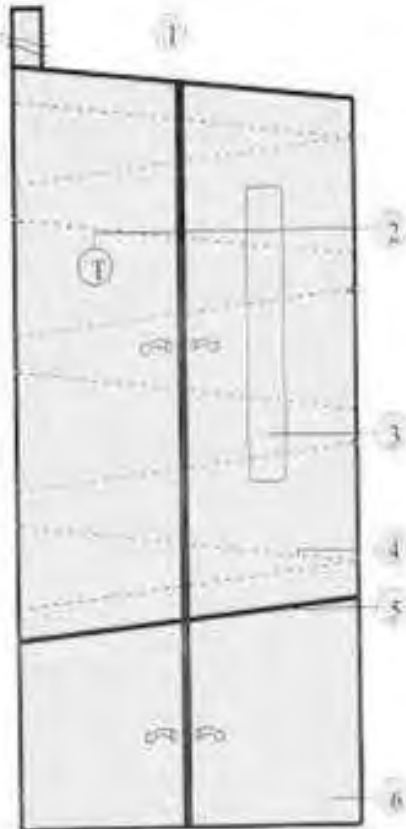


Diagram Alir Tugas Akhir





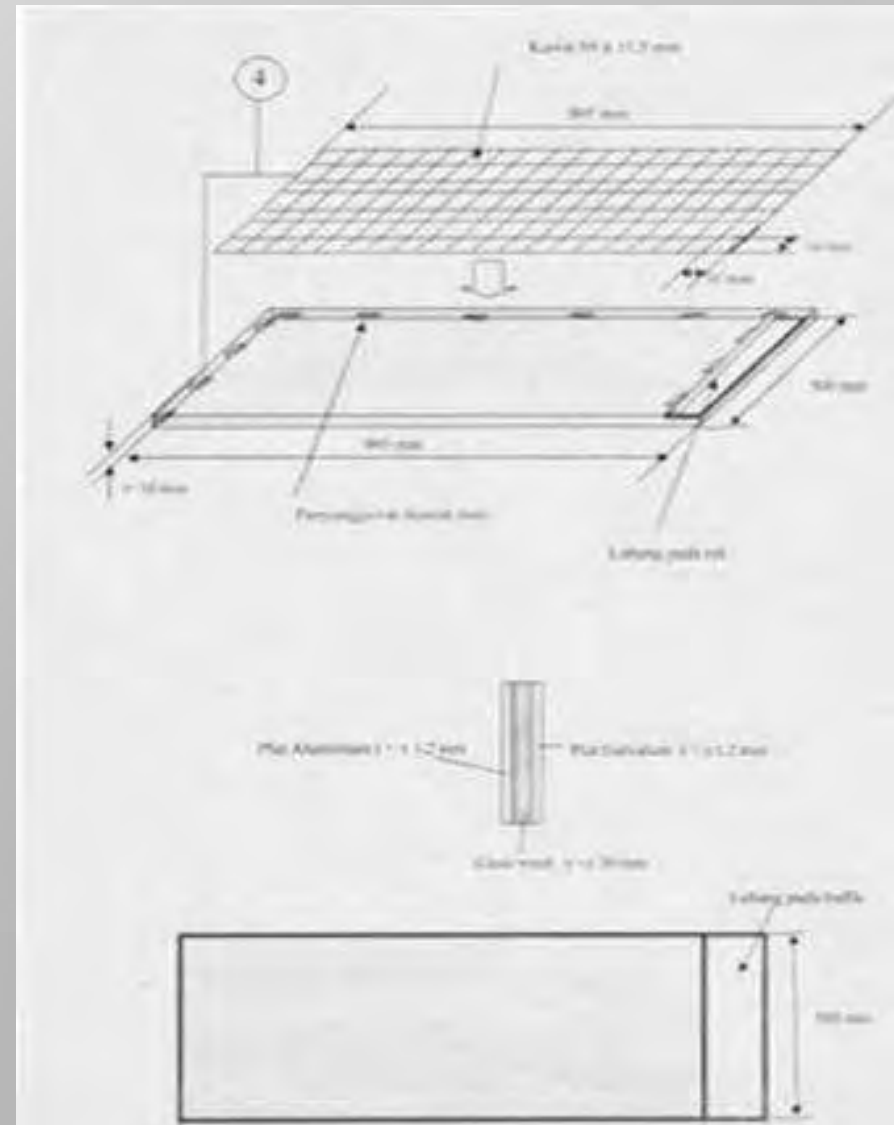
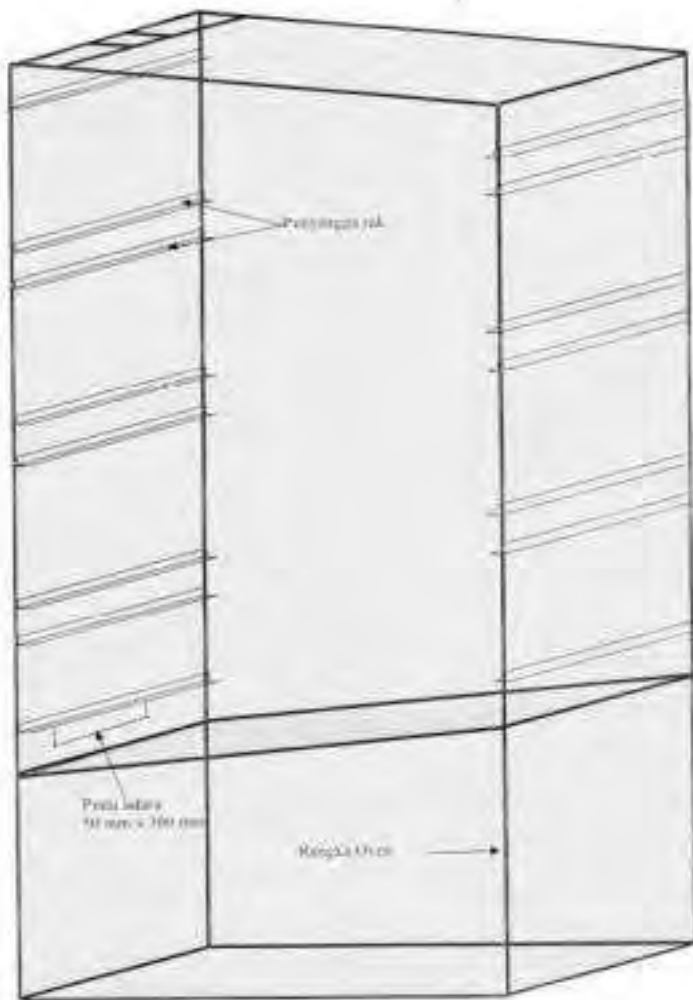
Spesifikasi Teknik



5	Ruang Kandang		
3	Plat Pemadat	Stainless steel	
4	Lubang	Gelombang + Matriks besi	
3	Jangka	Baja	
2	Termometer		
1	Ballon gas	Gasolium (Rangka plat besi)	
4	Kara	Bahan	termometer
	Gaya	Operan	Perawatan
	Set. Pengukur pres.	No. 1	
	Tgl.	Orang	
Jat. Dili T Meun	Namab		A4



Spesifikasi Teknik





Spesifikasi Teknik



Foto Oven dengan lubang ventilasi udara dan cerobong asap



Data Awal Perhitungan

Dimensi model oven

Panjang	=	63cm	=	0,63m
Lebar	=	100cm	=	1m
Tinggi	=	160cm	=	1.6m

Ukuran cerobong

Panjang	=	9cm	=	0,09m
Lebar	=	9cm	=	0,09m
Tinggi	=	100cm	=	1m

Data dinding

»	Bahan Dinding		
Galvalume			
Tebal (L_1)	=	0,12cm	= 0,0012m
Konduktivitas termal (k_1)	=		166 W/m ^{°K}
Glass Wool (<i>cellular glass</i>)			
Tebal (L_2)	=	2cm	= 0,02m
Konduktivitas termal (k_2)	=		0,058 W/m ^{°K}
Galvalme			
Tebal (L_3)	=	0,12cm	= 0,0012m
Konduktivitas termal (k_3)	=		166 W/m ^{°K}

Perancangan OVEN



Data Awal Perhitungan

Kaca jendela

Tebal (L_{glass})=	0,5m	= 0,005m
Konduktivitas termal		= 0,7 W/m ^{°K}
» Luas permukaan dinding		
bagian depan (A_1)		= 1,73941m ²
bagian kanan (A_2)		= 1,0187m ²
bagian kiri (A_3)		= 0,7106
4. Bagian belakang A_4	= A_1	= 1,73941m ²
5. Bagian atas A_5		= 0,705m ²
6. Bagian kaca depan		= 0,1449m ²

Data rak dan bak penampung lemak cair

Panjang =	89,5cm	= 0,895m
Lebar =	50cm	= 0,5m

Data Bahan (tokek)

Jari – jari (r)	= 0,075 m
Luas permukaan bahan (A_s)	= ($\pi \times (0,075\text{m})^2$)

$$= 1,76625 \text{ m}^2$$

$$= 46.607 \text{ MJ/kg}$$



Data Awal Perhitungan

T_{oo_1}	Rh	Δh	M p	Mbb	To	Tfi	Tfo	β_i	β_o	vi	vo	ai	ao	ki	ko	pri	pro
65,14	25%	0,002	0,024	0,51	33	359	308	0,00 27	0,0 032	21,9	16,7	31,4	23,6	30,6	26,9	0,69	0,71



Perancangan OVEN

✓ Perhitungan Q_{loss}

- koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_1)

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu}$$



$$0,687 \times 10^{10}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$



$$226,89$$



Perancangan OVEN

sehingga:

$$h_1 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} = \frac{226,89 \times 30,68 \cdot 10^{-3} W}{1,6m \cdot m^{\circ}K} = 4,35 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$$

sehingga: koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_1)

No	Besar Bukaan ventilasi	h_1 (depan,kanan, dan belakang) ($\frac{W}{m^2 K}$)	h_1 (kaca) ($\frac{W}{m^2 K}$)	h_1 (kiri) ($\frac{W}{m^2 K}$)	$h(\text{top})$ ($\frac{W}{m^2 K}$)
1	100	4.35	4.43	4.38	1.65



Perancangan OVEN

✓ Perhitungan Q_{loss}

- koefisien konveksi untuk bagian luar pengering (h_2)

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu}$$



$$0,148 \times 10^{10}$$

karena $0 < Ra_L < 10^{12}$, maka:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$



$$140,42$$



Perancangan OVEN

sehingga:

$$h_2 = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} = \frac{140,42 \times 26,91 \cdot 10^{-3} W}{1,6m \cdot m^{\circ}K} = 2,36 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

sehingga: koefisien konveksi untuk bagian dalam pengering (h_2)

No.	Besar Bukaan ventilasi (%)	h_2 (depan,kanan, dan belakang) ($\frac{W}{m^2 K}$)	h_2 (kaca) ($\frac{W}{m^2 K}$)	h_2 (kiri) ($\frac{W}{m^2 K}$)	$h_{(top)2}$ ($\frac{W}{m^2 K}$)
1	100	2.36	2.41	2.37	2.70



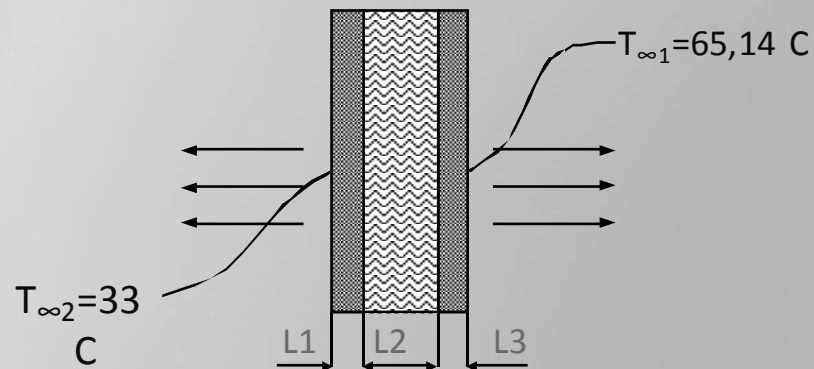
✓ Perhitungan Q_{loss}

Dinding depan

$$R_{\text{tot}}'' = \frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_1}$$



$$0,68 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$





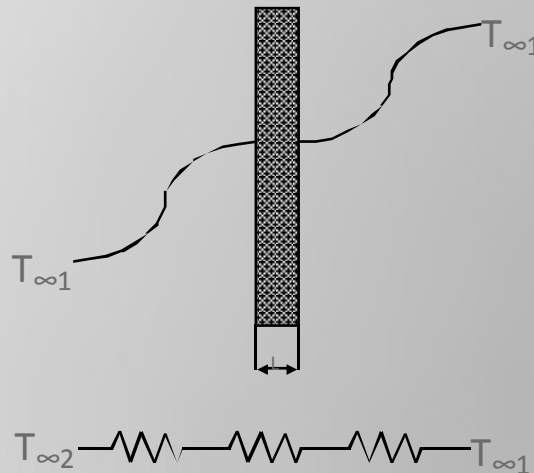
✓ Perhitungan Q_{loss}

•Bagian kaca jendela($Q_{\text{loss glass}}$)

$$R''_{\text{tot}} = \frac{1}{h_2} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_1}$$



$$0,93 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$





Maka untuk Q_{loss} bagian depan menjadi:

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= Q_{\text{loss1}} + Q_{\text{loss(glass)}} \\ &= 81.26 + 4,73 = 86 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut

No	Q1 (depan)	Q2 (kanan)	Q3 (kiri)	Q4 (belakang)	Q5 (atas)
1	86 W	33,2 W	22,98 W	56,27 W	34,29 W

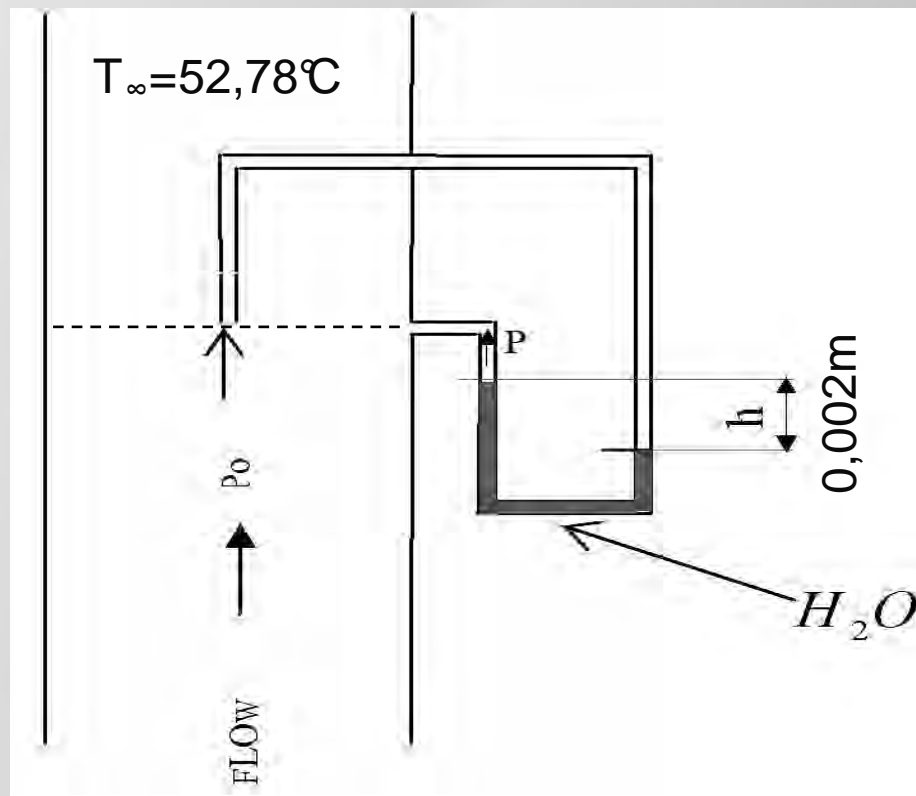
$$\begin{aligned} Q_{\text{loss dinding total}} &= Q_{\text{loss1}} + Q_{\text{loss2}} + Q_{\text{loss3}} + Q_{\text{loss4}} + Q_{\text{loss5}} \\ &= 232,66 \text{ W} \end{aligned}$$



Perancangan OVEN

✓ Perhitungan Kecepatan Aliran Udara Dalam Cerobong

Asumsi: gesekan fluida dalam cerobong diabaikan



$$\rho_{udara} = 1,075 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{air} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \sqrt{\frac{2(\rho_{air}gh)}{\rho_{udara}}}$$



$$V = 6,041 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Perancangan OVEN

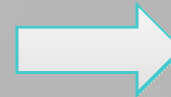
✓ Perhitungan Q_{loss} keluar Cerobong

- Koefisien perpindahan massa konveksi

$$V = 6,041 \frac{m}{s} \quad \rho_{\text{udara}} = 1,078 \frac{kg}{m^3} \quad A_v = 0,0081 m^2$$

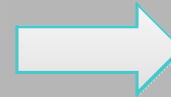
- Laju massa uap air yang dipindahkan ke udara sekeliling

$$\dot{m}_2 = V \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{cerobong}}$$



$$0,0052 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{\text{loss}} \text{ keluar cerobong} = \dot{m} \times C_p \times (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$



$$1036,7 \text{ W}$$



✓ Perhitungan Laju Perpindahan Massa (Q_{evap})

$T_f = 335,57 \text{ K}$, didapatkan:
(tabel A.4) didapat $\nu = 19,46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
(tabel 11.4) didapat $D_{AB} = 3,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

$$S_c = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{19,46 \cdot 10^{-6}}{3,63 \cdot 10^{-5}} = 0.54$$

Sifat – sifat udara pada $T_\infty = 65,14^\circ\text{C}$
(tabel A.6) didapat:

$$\rho_{u.sat} = 0,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$h_{fg} = 2360 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

• Perhitungan Reynold Number (Re_L)

$$Re_L = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{6,160 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0225 \text{ m}}{19,46 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 6,98 \times 10^3$$



Perancangan OVEN

Karena: $Re_L < 5 \times 10^5$

$$\overline{Sh}_L = \frac{h_m L}{D_{AB}} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}}$$



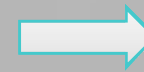
45,17

Koefisien perpindahan massa konveksi

$$h_m = \frac{\overline{Sh}_L D_{AB}}{L} = \frac{45,17 \times 3,63 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{0,0225 m} = 0,073 \frac{m}{s}$$

Laju massa uap air yang dipindahkan ke udara sekeliling, yaitu:

$$\dot{m} = h_m \times A_s \times \left[\rho_{u,sat}(T_{\infty}) - \rho_{u,sat}(T_s) \right]$$



$3,97 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s}$

$$Q_{evap} = \dot{m} \times h_{fg}$$



938,80 W



Perancangan OVEN

✓ Perhitungan Q_{loss} INFILTRASI

- Koefisien perpindahan massa konveksi

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 - \dot{m}'$$

$$0,052 \frac{\text{kg}}{\text{s}} - 3,98 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0,0051 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Laju massa uap air yang dipindahkan ke udara sekeliling

$$Q_{\text{loss infiltrasi}} = \dot{m} \times C_p \times (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$



$$1650,6W$$



Perancangan OVEN

Jadi $Q_{\text{loss total}}$:

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss total}} &= Q_{\text{loss dinding}} + Q_{\text{loss cerobong}} + Q_{\text{loss infiltrasi}} \\ &= 232,66W + 1036,7W + 1650,6W \\ &= 2919,96W \end{aligned}$$

:



✓ Perhitungan KESETIMBANGAN ENERGI

$$\begin{aligned} Q_{in} + Q_g &= Q_{out} + Q_{st}, \text{ asumsi } Q_g = 0 \\ Q_{st} &= Q_{in} - Q_{out} \\ &= Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{evap}) \end{aligned}$$



$$Q_{in} = (\dot{m}_{bb} \times LHV)$$

$$\left(\frac{0.51kg}{60menit} \times \frac{1menit}{60s} \times \frac{46,607 \cdot 10^6 J}{Kg} \right)$$



$$6602,66W$$

•Perhitungan Q_{st}

$$Q_{st} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{evap})$$



$$\begin{aligned} &6602,66W - (2919,66 + 938,8)W \\ &= 2743,9W \end{aligned}$$



Perancangan OVEN

Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi Dan Prosentase Kadar Air

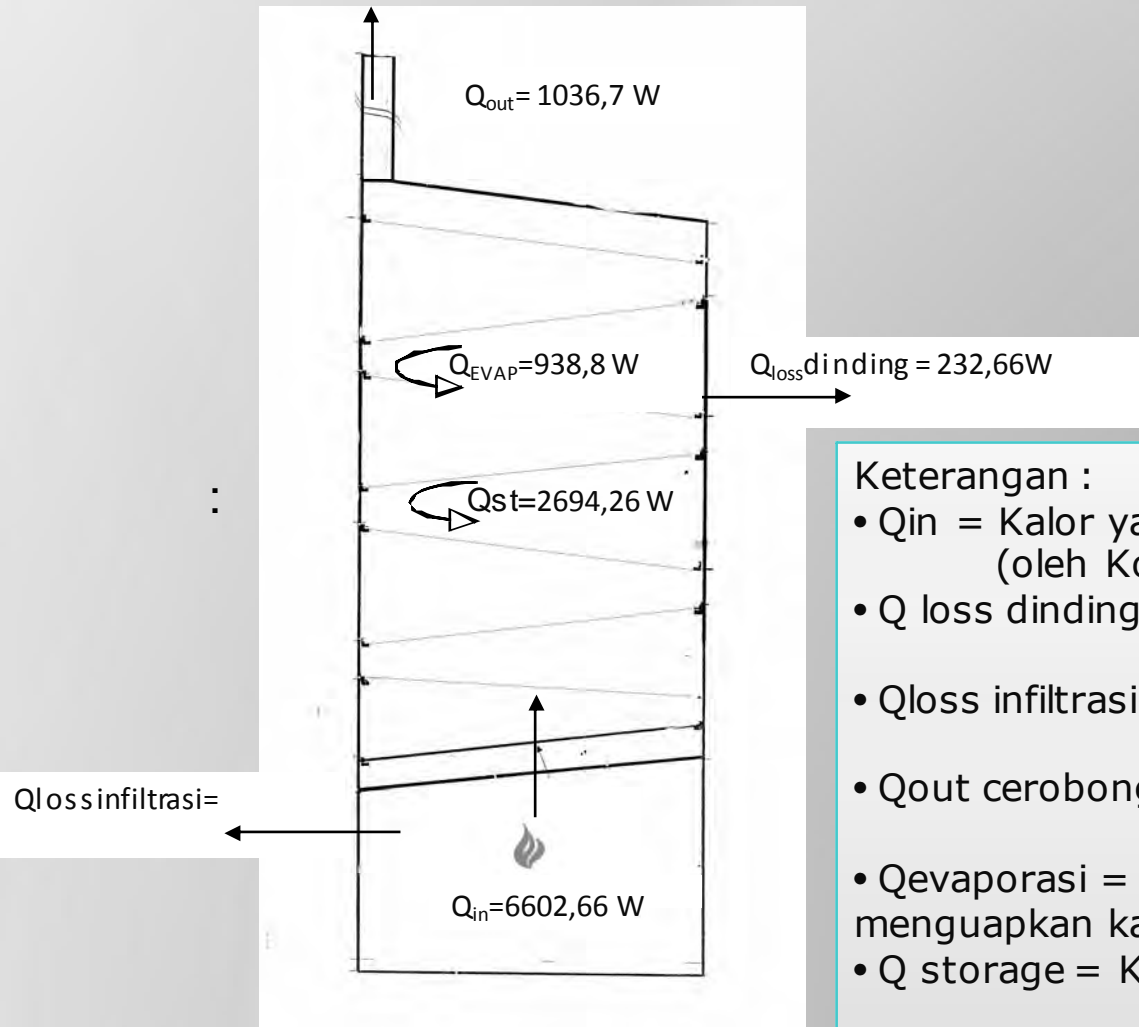
Besar ventilasi (%)	Q_{in} (W)	Q_{loss} (W)	Q_{evap} (W)	Q_{st} (W)	Kadar Air (%)	Waktu Pengeringan (jam)
100	6602,66	2919,6	938,8	2743,96	43	17

:



Perancangan OVEN

NERACA KESETIMBANGAN ENERGI



Keterangan :

- Q_{in} = Kalor yang masuk ke dalam oven (oleh Kompor LPG)
- $Q_{loss \text{ dinding}}$ = Kalor yang hilang melewati dinding-dinding oven
- $Q_{loss \text{ infiltrasi}}$ = Kalor yang masuk bersama udara dari luar
- $Q_{out \text{ cerobong}}$ = Kalor yang keluar melewati cerobong oven
- $Q_{evaporasi}$ = Kalor yang digunakan untuk menguapkan kandungan air produk
- $Q_{storage}$ = Kalor yang dipertahankan oleh oven



Perancangan OVEN

Perbandingan Pemakaian Harga Energi Selama Pengeringan Antara Oven baru dengan Oven lama

- Harga 3 Kg Bahan Bakar = Rp 13.000,00
- Harga 1 Kg Bahan Bakar = Rp 4.333,00
- Pemakaian Bahan Bakar = 0,51 Kg
- Lama Pengeringan = 17 jam
- Harga Energi yang hilang selama pengeringan berlangsung
 $\text{Rp } 4.333,00 \times 0,51 \text{ Kg} \times 17 \text{ jam} = \text{Rp } 37.567,80$

:

- Harga 1 liter minyak tanah = Rp 7.000,00
- Kemampuan 1 liter minyak tanah = 6 jam
- Lama Pengeringan = 24 jam
- Kompor minyak yang digunakan = 2 buah
- Harga Energi yang digunakan selama pengeringan berlangsung
 $\text{Rp } 7.000 \times 8 \text{ liter} = \text{Rp } 56.000,00$





LAMPIRAN GAMBAR



Gambar Tokek Hidup



Gambar Tokek Yang Isi Perutnya
Dikeluarkan



Tokek Siap Dikeringkan
Tampak bawah



Tokek Siap Dikeringkan
Tampak Atas



Oven



Tokek Yang Sudah Dikeringkan



KESIMPULAN

- Kerugian panas (Q_{loss}) yaitu sebesar 336,939 W.
- Laju perpindahan massa dari bahan basah menjadi kering, kalor penguapan (Q_{evap}) yaitu sebesar 938,8 W.
- Panas yang masuk ke dalam pengering (Q_{in}) dipengaruhi oleh bahan bakar dari kompor dan temperatur udara luar yang masuk ke dalam ruang pembakaran, yaitu sebesar 6602,66 W.
- Panas yang tersimpan dalam pengering (Q_{st}) yaitu sebesar 2694,26 W.
- Kapasitas maksimal dari oven adalah sebanyak 700 tokek untuk sekali pengeringan dengan berat tokek per ekornya rata-rata 2 ons.
- Waktu optimal untuk mengeringkan tokek adalah 17 jam, dengan suhu rata-rata sebesar 65,14°C.
- Penggunaan Kompor LPG lebih hemat, dan lebih cepat daripada kompor minyak dalam proses pengeringan tokek



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Thank You !

Mohon Saran dan Masukan
Untuk Kesempurnaan
Tugas Akhir ini

DIII TEKNIK MESIN FTI-ITS